



LUGT FRA FLYAKTIVITETER I KØBENHAVNS LUFTHAVN

Lugtemissionsopgørelse og lugtgener

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 715

2026



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

LUGT FRA FLYAKTIVITETER I KØBENHAVNS LUFTHAVN

Lugtemissionsopgørelse og lugtgener

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 715

2026

Anne Sofie Lansø
Morten Winther

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 715
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Lugt fra flyaktiviteter i Københavns Lufthavn
Undertitel:	Lugtemissionsopgørelse og lugtgener
Forfatter(e):	Anne Sofie Lansø, Morten Winther
Institution(er):	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	September 2026
Redaktion afsluttet:	Oktober 2026
Faglig kommentering:	Steen Solvang Jensen
Kvalitetssikring, DCE:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Ekstern kommentering:	Københavns Lufthavn. Kommentarerne findes her
Finansiel støtte:	Københavns Lufthavn
Bedes citeret:	Lansø, A.S. & Winther, M., 2026. Lugt fra flyaktiviteter i Københavns Lufthavn. Lugtemissionsopgørelse og lugtgener. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 78 s. - Videnskabelig rapport nr. 715
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi har for Københavns Lufthavn undersøgt lugtgener fra lufthavnen i de omkringliggende områder. Dette er gjort ved hjælp af en detaljeret emissionsopgørelse for 2025 for lave, middel og høje flyaktivitetsniveauer. Lugtemissioner er blevet tilknyttet kulbrinteemissioner (HC) fra flyaktiviteter på lufthavnens område ved anvendelse af en lugtemissionsfaktor på 57 Lugtenheder (LE)/mg HC. Spredningsberegninger er herefter blevet foretaget for at undersøge, i hvilket omfang flyaktiviteter kan give anledning til lugtgener hos naboerne til Københavns Lufthavn og til overskridelse af grænseværdien for lugt. Der forekommer enkelte overskridelser i nærområdet, og disse afhænger af placeringen af kilderne på lufthavnens område, flyaktivitetsniveauet og vejrforholdene (vindretning og atmosfærisk stabilitet).
Emneord:	Københavns Lufthavn, litteraturstudie, flyaktivitetsniveauer, lugtemissionsopgørelse, spredningsberegninger, lugtgener
Layout:	Ann-Katrine Holme Christoffersen, Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab.
Foto forside:	COLOURBOX36337818
ISBN:	978-87-7648-092-9
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	78

Indhold

Sammenfatning	5
Baggrund og formål	5
Emissionsopgørelse for Københavns Lufthavn	5
Lugtgener fra Københavns Lufthavn	7
Summary	10
Background and purpose	10
Emissions inventory for Copenhagen Airport	10
Odour nuisance from Copenhagen Airport	12
1 Introduktion	15
2 Litteraturstudie af lugtemissionsfaktorer for lufthavnsaktiviteter	16
2.1 Undersøgelse af lugt fra flytrafik i Københavns Lufthavn 2006	16
2.2 Litteraturstudie for perioden 2006 til 2026	17
3 Emissionsopgørelse for Københavns Lufthavn	19
3.1 Aktivitetsdata	21
3.2 Digitalisering af aktivitetsdata	27
3.3 Emissionsfaktorer	29
3.4 Beregningsmetode	30
3.5 Resultater	30
3.6 Usikkerhed på lugtemissioner	46
3.7 Sammenligning med tidligere lugtopgørelse	47
4 Lugtgener	51
4.1 Grænseværdier for lugtgener	51
4.2 Opsætning af OML-Multi	51
4.3 Lugtgener fra Københavns Lufthavn	54
4.4 Overskridelse af lugtkoncentrationsbidrag fra Københavns Lufthavn	63
4.5 Usikkerheder relateret til spredningsberegninger med OLM-Multi	63
5 Referencer	65
Bilag 1 Oversigt over fremsøgte peer-review kilder på web of science	69
Bilag 2 Faktorer for brændstofforbrug, HC-emissioner og lugtemissioner	72
Hovedmotorer	72
APU	73
Opstart af hovedmotorer	74
Tankning af fly	75

Afledte emissionsrater og -faktorer for hovedmotorer, APU og flytankning	76
Bilag 3 Beregningsmetode	78

Sammenfatning

Baggrund og formål

Med et påbud har Miljøstyrelsen bedt Københavns Lufthavne A/S at gennemføre en kortlægning af lugtbidraget til omgivelserne fra aktiviteter relateret til flytrafikken og tilhørende processer. Den påbudte kortlægning skal klarlægge virksomhedens bidrag til lugtgener i bolig-, erhvervs- og rekreative områder omkring lufthavnen. I perioden april 2024 – februar 2025 er der foretaget 6 tilsyn med henblik på at vurdere forekomsten af lugtgener fra lufthavnen i boligområder, der ligger tæt på lufthavnen. Miljøstyrelsen registrerede lugtgener ved fire af disse tilsyn.

På denne baggrund har Københavns Lufthavn henvendt sig til DCE med henblik på at gennemføre den påbudte kortlægning. Københavns Lufthavn ønsker en detaljeret opgørelse af lugtemissioner fra flyaktiviteter i lufthavnen samt en analyse af lugtgenerne for de omkringliggende områder baseret på atmosfæriske spredningsberegninger.

Kortlægningen har til formål at belyse, hvordan Københavns Lufthavn påvirker sine omgivelser med lugtgener. Opgaveløsningen omfatter følgende elementer:

- Gennemførelse af et litteraturstudie med henblik på at identificere eventuelle opdaterede metoder til bestemmelse af lugtemissionsfaktorer for lufthavnsaktiviteter i forhold til metoden beskrevet i et tidligere lugtstudie for lufthavnen (Fenger et al., 2006).
- Udarbejdelse af detaljerede lugtemissionsopgørelser for dage med lav, middel og høj flyaktivitet i Københavns Lufthavn, herunder dokumentation for, at de valgte dage er repræsentative for de tre flyaktivitetsniveauer.
- Gennemførelse af atmosfæriske spredningsberegninger for lugtemissioner for de valgte dage med lav, middel og høj flyaktivitet.
- Sammenligning af Københavns Lufthavns bidrag til lugtgener med de vejledende grænseværdier for lugt i henhold til Miljøstyrelsens Lugtvejledning for virksomheder (1985).

Emissionsopgørelse for Københavns Lufthavn

Emissionsopgørelsen for lufthavnen indeholder brændstofforbrug og HC- og lugtemissioner fra aktiviteter, der udføres med hovedmotorer for fly (landing, start, taxifart og motoropstart) og hjælpemotorer (APU, Auxiliary Power Unit), opstart af hovedmotorer og flytankning. HC er hydrocarbon eller kulbrinter på dansk. Beregningerne er gennemført for seks repræsentative dage med flyaktiviteter i Københavns Lufthavn i 2025; to dage for et lavt flyaktivitetsniveau, to dage for et middel flyaktivitetsniveau og to dage for et højt flyaktivitetsniveau.

Opgørelsen er detaljeret opdelt i et 5 m x 5 m gitternet-system, og indeholder hver gittercelles aktivitetsopdelte brændstofforbrug og emissioner, med angivelse af tidspunkt for de enkelte udslip.

Som input til emissionsopgørelsen har Københavns Lufthavn leveret detaljerede flyaktivitetsdata med oplysninger om bl.a. flytype, registreringsnummer, standplads, off/on block tid, start-/landings tidspunkt og bane for de

seks udvalgte dage. Derudover bruges data for opstart af hovedmotorer og flytankning tilknyttet de enkelte flyafgange.

I projektet er motorspecifikke HC-emissionsfaktorer bestemt for flyenes hovedmotorer, og for flyenes APU-motorer er HC-emissionsfaktorer fastlagt efter flystørrelse og -alder. For opstart af hovedmotorer og flytankning er HC-emissionsfaktorerne en funktion af hhv. hovedmotorstørrelse og tanket mængde flybrændstof.

Lugtemissionsfaktorer for aktiviteterne udført med hovedmotorer for fly, APU, opstart af hovedmotorer og flytankning bestemmes ved at kombinere de opstillede HC-emissionsfaktorer med HC-relaterede lugtemissionsfaktorer for de forskellige aktivitetstyper.

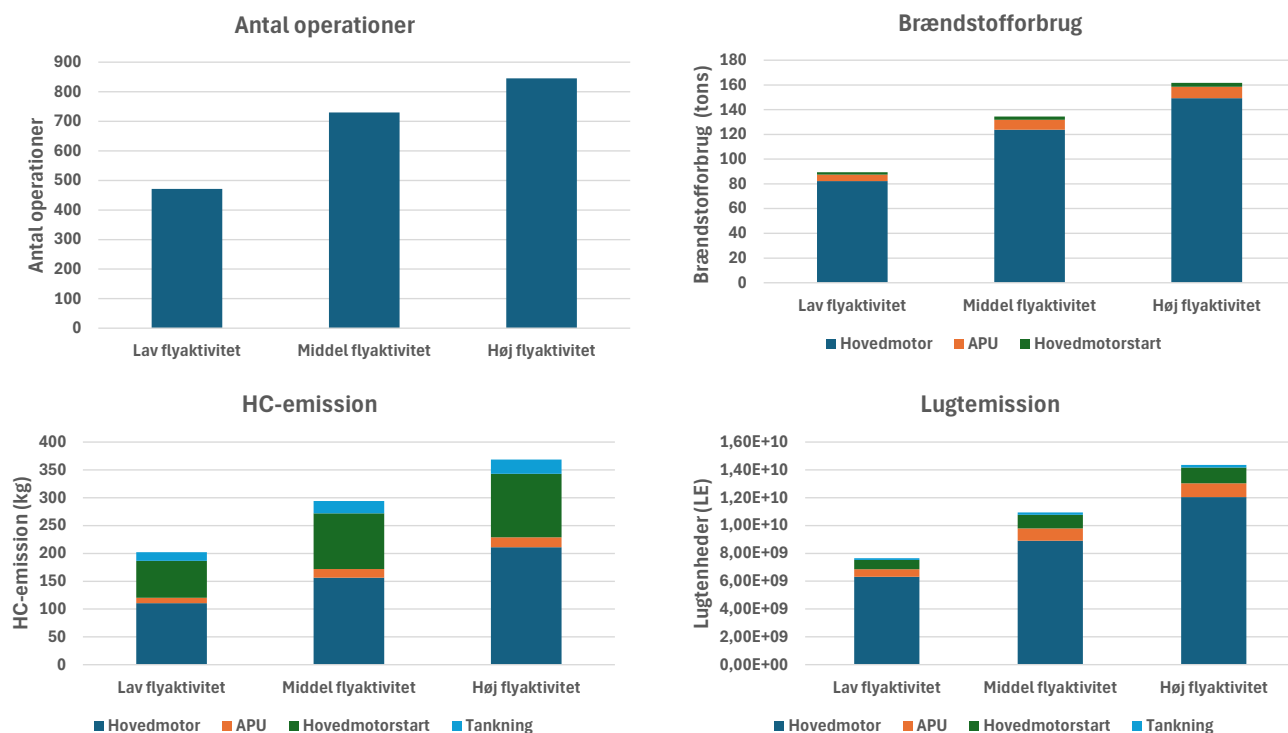
Ved at kombinere emissionsfaktorer og driftstider er emissionsrater i gram pr. sekund afledt. De endelige emissioner beregnes som produktet af emissionsraten og tidsrum for aktiviteten i den enkelte celle.

Figur 1.1 viser de samlede resultater for brændstofforbruget, HC-emissionen og lugtemissionen, beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgn for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

I de anvendte flyaktivitetsdata i projektet er antallet af flyoperationer for en gennemsnitlig dag med høj flyaktivitet 79 % højere end antallet af flyoperationer for en gennemsnitlig dag med lav flyaktivitet. De beregnede samlede brændstofforbrug, HC- og lugtemissioner er hhv. 81 %, 82 % og 88 % højere ved høj flyaktivitet sammenlignet med lav flyaktivitet.

Lugtemissionen stiger samlet set mere end HC-emissionen, når de to flyaktivitetsniveauer sammenlignes, fordi HC-emissionerne stiger mest for hovedmotorer. Hovedmotorer er langt den største kilde til HC-emissionerne i luft-havnen og har en HC-relateret lugtemissionsfaktor, der er væsentligt større end den HC-relaterede lugtemissionsfaktor for hovedmotorstart og flytankning.

For dagene med middel flyaktivitet stiger lugtemissionerne for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning med hhv. 41 %, 59 %, 47 % og 43 %, set i forhold til lugtemissionerne for dagene med lav flyaktivitet. For dagene med høj flyaktivitet stiger lugtemissionerne for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning med hhv. 91 %, 80 %, 69 % og 63 %, set i forhold til lugtemissionerne for dagene med lav flyaktivitet.



Figur 1.1. Samlede resultater for brændstofforbruget, HC-emissionen og lugtemissionen, beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgn for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

For lugtemissionerne er følgende procentandele for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning beregnet i projektet for de udvalgte dage med lav, middel og høj flyaktivitet.

For lav flyaktivitet er de beregnede lugtemissionsandele for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning hhv. 82 %, 7 %, 9 % og 2 %. For middel flyaktivitet er de beregnede lugtemissionsandele for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning hhv. 81 %, 8 %, 9 % og 2 %. For høj flyaktivitet er de beregnede lugtemissionsandele for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning hhv. 84 %, 7 %, 8 % og 1 %.

Lugtgener fra Københavns Lufthavn

Den atmosfæriske lokalskalaspredningsmodel OML-Multi er anvendt til at undersøge lugtgener fra Københavns Lufthavn til de omkringliggende områder. OML-Multi (Operationel Meteorologisk Luftkvalitetsmodel) er en Gaussisk røgfanemodell, som beregner spredningen af ikke-reaktive stoffer fra punkt- og arealkilder.

Spredningsberegningerne er foretaget for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet. For alle flyaktivitetsniveauer er der anvendt meteorologiske data fra 2025. Modelberegningerne dækker lufthavnens nærområde i et modeldomæne på 11 km x 16 km i en opløsning på 250 m x 250 m. Spredningsberegningerne er foretaget udelukkende for lugtemissionerne fra lufthavnen, og resultaterne viser derfor kun Københavns Lufthavns bidrag til lugtkoncentrationer.

Jævnfør lugtvejledningen anvendes 1 års meteorologiske data til lugtberegninger for virksomheder. De maksimale månedlige 99%-fraktiler af de bereg-

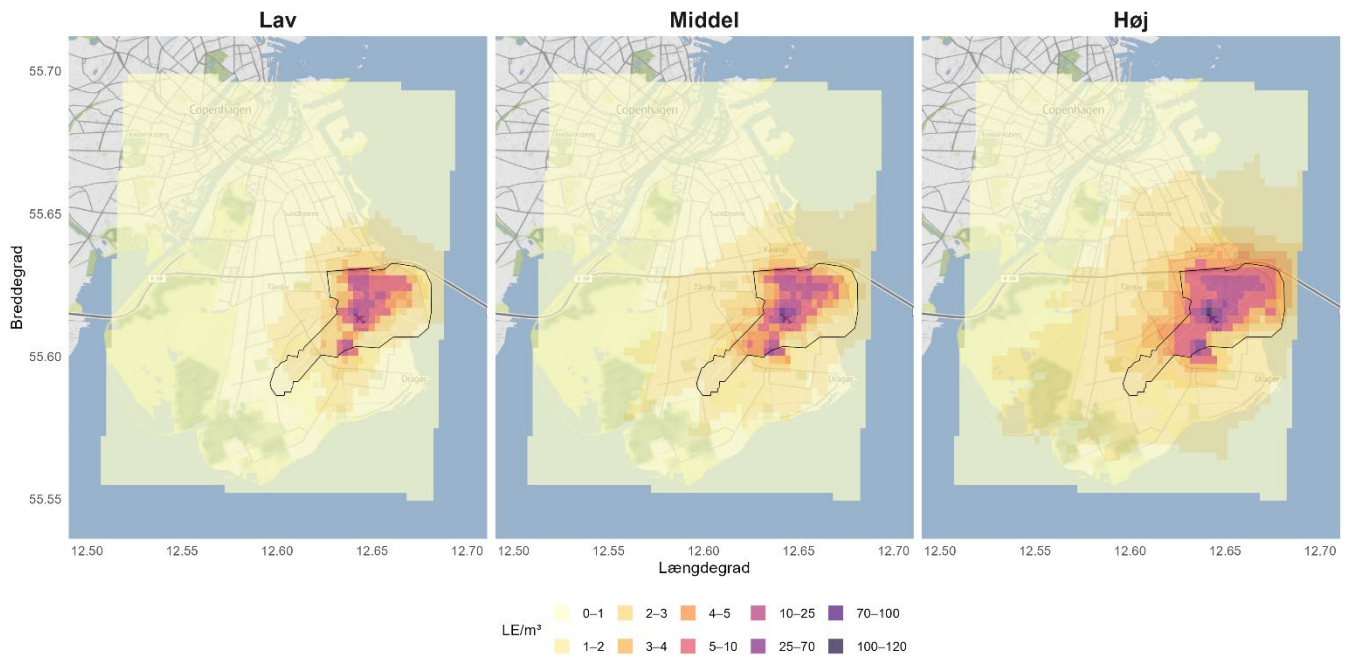
nede timeværdier omregnes til minutmiddelværdier, som herefter sammenholdes med B-værdier for lugt (Miljøstyrelsen, 1986; 2024). B-værdier for lugt er bidragsværdier, som er opstillet af Miljøstyrelsen, og fungerer som grænseværdier, som virksomheden skal overholde i sine omgivelser. Den maksimale månedlige 99%-fraktil angiver den højeste 99%-fraktil blandt årets 12 måneder i hvert receptorpunkt. Det betyder, at der i den mest belastede måned forekommer lugtkoncentrationer over denne værdi i ca. 1 % af månedens timer, svarende til syv timer for en måned med 720 timer.

Figur 1.2 viser de maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdier for lugtkoncentrationer for de tre flyaktivitetsniveauer lav, middel og høj for Københavns lufthavnen i 2025. Der ses en tydelig sammenhæng mellem flyaktivitetsniveau og højeste værdier for lugtkoncentrationen i Københavns Lufthavns nærområde.

Miljøstyrelsen har udviklet en praksis for, at en virksomheds bidragsværdi for lugt (B-værdi) ikke må overskride 5 LE/ m³ i boligområder, og 10 LE/ m³ i erhvervs-, industri-, og landbrugsområder (Jørgensen et al., 2006). LE er lugtenheder. Lugtbidraget fra Københavns Lufthavn overskrider lugtgrænseværdien på 5 LE/m³ enkelte steder lige uden for lufthavnens eget område. Dette gælder området i Kastrup lige nord for terminalbygningerne og den nordlige del af Store Magleby. Ved middel og højt flyaktivitetsniveau forekommer der desuden overskridelser i området vest for lufthavnen ved Amager Landevej.

Ved alle tre flyaktivitetsniveauer ligger den maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdi mellem 5 og 10 LE/m³ ved Kastrup lige nord for terminalbygningerne. Ved middel og højt flyaktivitetsniveau ligger lugtkoncentrationsværdien ligeledes mellem 5 og 10 LE/m³ i området mellem Amager Landevej og lufthavnen. I den nordligste del af Store Magleby forekommer der højere overskridelse på 23 LE/m³, 25 LE/m³ and 43 LE/m³ for alle lavt, middel og højt flyaktivitetsniveau.

Lufthavnens bidrag til lugtkoncentrationer for flyaktivitetsniveauer
Maksimalt 1-minutkorrigerede månedlige 99%-fraktiler



Figur 1.2. Maksimalt 1-minutkorrigerede månedlige 99%-fraktilværdier for lugtkoncentrationer for lav, middel og høj flyaktivitet beregnet for år 2025. Københavns Lufthavns område er angivet med et løst omruds baseret på matrikelkort fra <https://www.matriklen.dk/kort>. © Stadia Maps © OpenMapTiles © OpenStreetMap og © Stamen Design er brugt til at fremstille figuren.

Summary

Background and purpose

With an order, the Danish Environmental Protection Agency has asked Copenhagen Airports A/S to carry out a survey of the odour contribution to the surroundings from activities related to air traffic and associated processes. The mandatory survey is to clarify the company's contribution to odour nuisance in residential, commercial and recreational areas around the airport. In the period April 2024 – February 2025, six inspections have been carried out in order to assess the occurrence of odour nuisance from the airport in residential areas close to the airport. The Danish Environmental Protection Agency registered odour nuisance during four of these inspections.

Against this background, Copenhagen Airport has approached DCE with a view to carrying out the mandatory mapping. Copenhagen Airport wants a detailed inventory of odour emissions from aircraft activities at the airport as well as an analysis of the odour nuisance for the surrounding areas based on atmospheric dispersion calculations.

The purpose of the survey is to shed light on how Copenhagen Airport affects its surroundings with odour nuisance. The task solution includes the following elements:

- Conducting a literature review to identify any updated methods for determining odour emission factors for airport activities compared to the method described in a previous odour study for the airport (Fenger et al., 2006).
- Preparation of detailed odour emission inventories for low, medium and high flight activity days at Copenhagen Airport, including documentation that the selected days are representative of the three flight activity levels.
- Implementation of atmospheric dispersion calculations for odour emissions for the selected low, medium and high flight activity days.
- Comparison of Copenhagen Airport's contribution to odour nuisance with the guideline limit values for odour in accordance with the Danish Environmental Protection Agency's Odour Guidelines for Companies (1985).

Emissions inventory for Copenhagen Airport

The emissions inventory for the airport includes fuel consumption, HC (hydrocarbon) and odour emissions from activities involving aircraft main engines (operation and engine start-up) and auxiliary engines (APU, Auxiliary Power Unit), start-up of main engines and aircraft refuelling. The calculations have been made for six representative days of flight activity at Copenhagen Airport in 2025; two days for a low level of flight activity, two days for a medium level of flight activity and two days for a high level of flight activity.

The inventory is divided into a 5 m x 5 m grid system, and each grid cell contains activity-divided fuel consumption and emissions, with an indication of the time of the individual emissions.

As input to the emission inventory, Copenhagen Airport has provided detailed flight activity data with information on, among other things, aircraft type, registration number, stand, off/on block time, take-off/landing time

and runway for the six selected days. In addition, data for start-up of main engines and aircraft refuelling are used for the individual flights.

In the project, engine-specific HC emission factors are determined for the aircraft's main engines, and for the aircraft's APU engines. HC emission factors are determined according to aircraft size and age. For start-up of main engines and aircraft refuelling, the HC emission factors are a function of the main engine size and the amount of aviation fuel refuelled, respectively.

Odour emission factors for the activities involving aircraft main engines, APUs, start-up of main engines and aircraft refuelling are determined by combining the listed HC emission factors with HC-related odour emission factors for the different types of activity.

By combining emission factors and operating times, emission rates in grams per second are derived. The final emissions are calculated as the product of the emission rate and the time of activity in the individual cell.

Figure 1.1 shows the total results for fuel consumption, HC emissions and odour emissions, calculated as an average of the two selected days for low, medium and high flight activity.

In the flight activity data used in the project, the number of flight operations for an average day of high flight activity is 79 % higher than the number of flight operations for an average day of low flight activity. The calculated total fuel consumption, HC and odour emissions are 81 %, 82 % and 88 % higher at high flight activity, respectively, compared to low flight activity.

Overall, the odour emission increases more than the HC emission when the two aircraft activity levels are compared, because the HC emissions increase the most for main engines. Main engines are by far the largest source of HC emissions at the airport and have an HC-related odour emission factor that is substantially larger than the HC-related odour emission factor for main engine start-up and aircraft refuelling.

For the days of medium flight activity, the odour emissions for main engines, APU, main engine start and refuelling increase by 41 %, 59 %, 47 % and 43 %, respectively, compared to odour emissions for the days with low flight activity. For the days of high flight activity, the odour emissions for main engines, APU, main engine start and refuelling increase by 91 %, 80 %, 69 % and 63 %, respectively, compared to the odour emissions for the days of low flight activity.

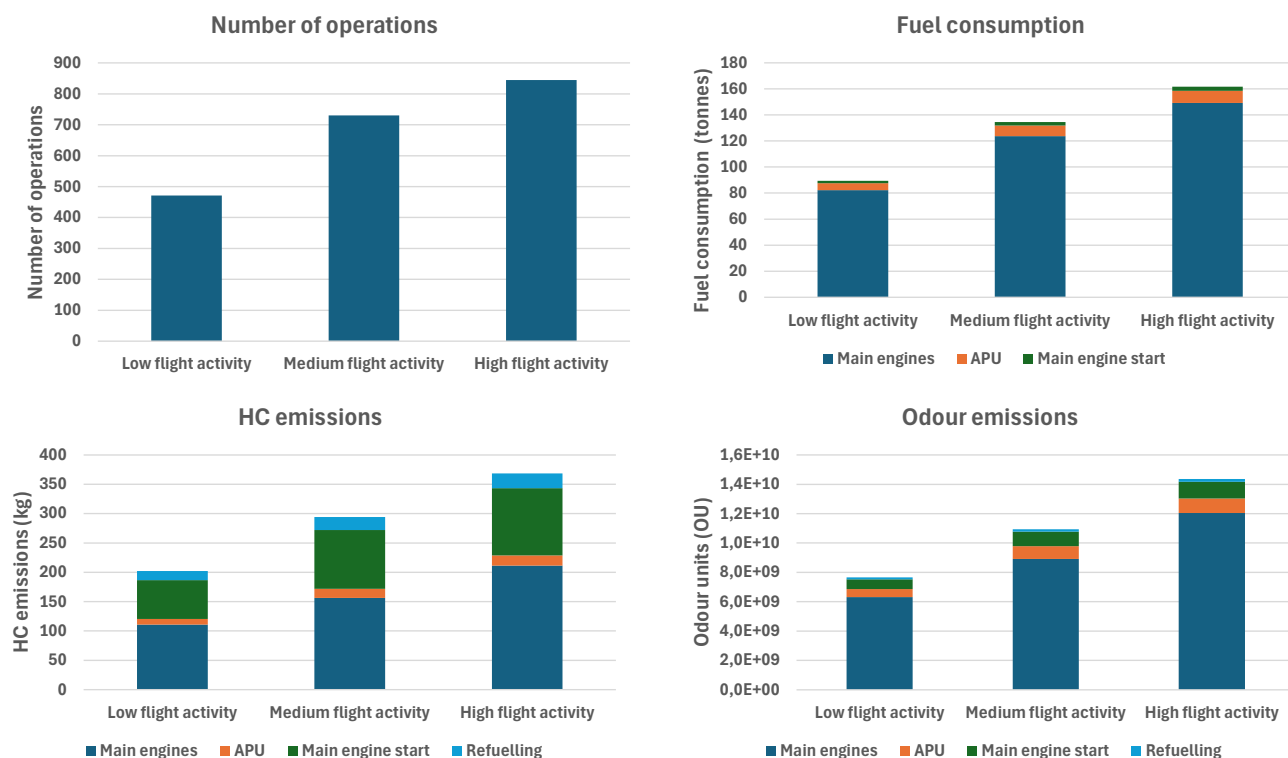


Figure 1.1. Total results for fuel consumption, HC emissions and odour emissions, calculated as an average of the two selected days for low, medium and high flight activity, respectively.

For the odour emissions, the following percentages for main engines, APU, main engine start and refuelling have been calculated in the project for the selected days of low, medium and high flight activity.

For low aircraft activity, the calculated odour emission proportions for main engines, APU, main engine start and refuelling are 82 %, 7 %, 9 % and 2 %, respectively. For medium aircraft activity, the calculated odour emission proportions for main engines, APU, main engine start and refuelling are 81 %, 8 %, 9 % and 2 %, respectively. For high aircraft activity, the calculated odour emission proportions for main engines, APU, main engine start and refuelling are 84 %, 7 %, 8 % and 1 %, respectively.

Odour nuisance from Copenhagen Airport

The atmospheric local-scale dispersion model OML-Multi has been used to investigate odour nuisance from Copenhagen Airport to the surrounding areas. OML-Multi (Operational Meteorological Air Quality Model) is a Gaussian plume model that calculates the dispersion of non-reactive substances from point and area sources.

The dispersion calculations have been made for low, medium and high flight activity levels, respectively. For all flight activity levels, meteorological data from 2025 have been used. The model calculations cover the airport's adjacent area in a model domain of 11 km x 16 km in a resolution of 250 m x 250 m. The dispersion calculations have been made exclusively for the odour emissions from the airport, and the results therefore only show the contribution of Copenhagen Airport to odour concentrations.

According to the odour guidelines, 1 year of meteorological data is used for odour calculations for industrial facilities. The maximum monthly 99th percentiles of the calculated hourly values are converted to minute mean values, which are then compared with C-values for odour. C-values for odour are contribution values set by the Danish Environmental Protection Agency and serve as limit values that the industrial facility must comply with in its surroundings. The maximum monthly 99% percentile indicates the highest 99th percentile among the 12 months of the year at each receptor point. This means that in the most impacted month, odour concentrations above this value occur in approx. 1 % of the month's hours, corresponding to 7 hours for a month with 720 hours.

Figure 1.2 shows the maximum monthly 99%-percentiles, corrected to 1-minut odour concentration for the three aircraft activity levels low, medium and high for Copenhagen Airport in 2025. There is a clear correlation between the aircraft activity level and the highest odour concentration in the vicinity of Copenhagen Airport.

The odour contribution from Copenhagen Airport exceeds the odour limit value of 5 LE/m³ in some locations immediately outside the airport site boundary. This applies to the area in Kastrup just north of the terminal buildings and the northern part of Store Magleby. At medium and high levels of flight activity, exceedances also occur in the area west of the airport at Amager Landevej.

At all three flight activity levels, the maximum monthly 99%-percentiles, corrected to 1-minut odour concentration is between 5 and 10 LE/m³ at Kastrup just north of the terminal buildings. At medium and high flight activity levels, the value is also between 5 and 10 LE/m³ in the area between Amager Landevej and the airport. In the northernmost part of Store Magleby, higher exceedances of 23 LE/m³, 25 LE/m³ and 43 LE/m³ occur for the three flight activity levels respectively.

Airport contribution to odour concentrations for the three flight activity days
Maximum monthly 99%-percentiles, corrected to 1-minut concentrations

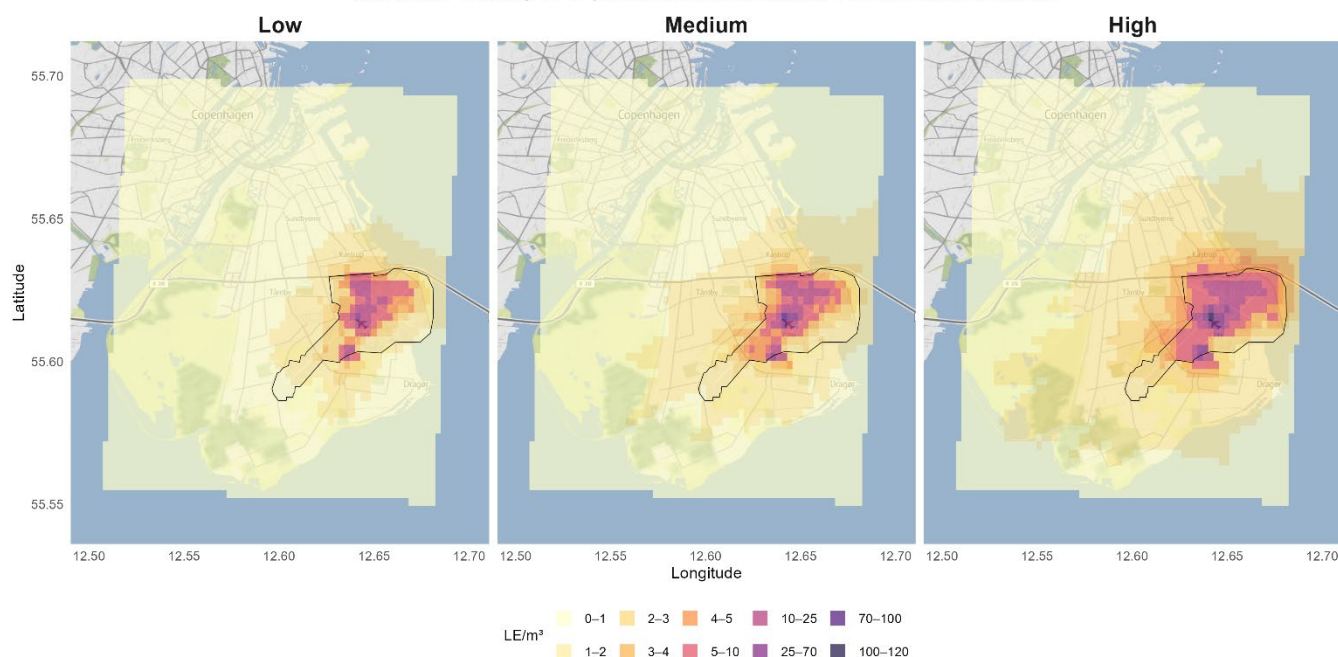


Figure 1.2. Maximum monthly 99%-percentiles, corrected to 1-minut odour concentrations for low, medium, and high flight activity calculated for 2025. Copenhagen Airport is indicated by a loose outline based on cadastral maps from <https://www.matriklen.dk/kort>. © [Stadia Maps](#) © [OpenMapTiles](#) © [OpenStreetMap](#) and © [Stamen Design](#) were used in producing the figure.

1 Introduktion

Miljøstyrelsen har påbudt Københavns Lufthavne A/S at gennemføre en kortlægning af lugtbidraget til omgivelserne fra aktiviteter relateret til flytrafikken og tilhørende processer. Den påbudte kortlægning skal klarlægge virksomhedens bidrag til lugtgener i bolig-, erhvervs- og rekreative områder omkring lufthavnen. I perioden april 2024 – februar 2025 er der foretaget seks tilsyn med henblik på at vurdere forekomsten af lugtgener fra lufthavnen i boligområder, der ligger tæt på lufthavnen. Miljøstyrelsen registrerede lugtgener ved fire af disse tilsyn.

På denne baggrund har Københavns Lufthavn henvendt sig til DCE med henblik på at gennemføre den påbudte kortlægning. Københavns Lufthavn ønsker en detaljeret opgørelse af lugtemissioner fra flyaktiviteter i lufthavnen samt en analyse af lugtgenerne for de omkringliggende områder baseret på atmosfæriske spredningsberegninger.

Kortlægningen har til formål at belyse, hvordan Københavns Lufthavn påvirker sine omgivelser med lugtgener. Opgaveløsningen omfatter følgende elementer:

- Gennemførelse af et litteraturstudie med henblik på at identificere eventuelle opdaterede metoder til bestemmelse af lugtemissionsfaktorer for lufthavnsaktiviteter i forhold til metoden beskrevet i et tidligere lugtstudie for lufthavnen (Fenger et al., 2006).
- Udarbejdelse af detaljerede lugtemissionsopgørelser for lav-, middel- og højaktivitetsdage i Københavns Lufthavn, herunder dokumentation for, at de valgte dage er repræsentative for de tre aktivitetsniveauer.
- Gennemførelse af atmosfæriske spredningsberegninger for lugtemissioner for de valgte lav-, middel- og højaktivitetsdage.
- Sammenligning af Københavns Lufthavns bidrag til lugtgener med de vejledende grænseværdier for lugt i henhold til Miljøstyrelsens Lugtvejledning for virksomheder (1985).

2 Litteraturstudie af lugtemissionsfaktorer for lufthavnsaktiviteter

DCE (forhenværende Danmarks Miljøundersøgelser) foretog i 2006 et studie angående lugtemissioner og lugtgener fra flytrafik i Københavns Lufthavn (Fenger et al., 2006). Siden da kan der potentielt være fremkommet ny viden om lugtemissioner fra flyaktiviteter. Derfor er det undersøgt, om der siden 2006 er publiceret ny viden, som kan anvendes til bestemmelse af lugtemissionsfaktorer for flyaktiviteter.

Kapitlet indledes med en kort beskrivelse af den metode, der blev anvendt i studiet fra 2006. Herefter gennemgås den nyere videnskabelige litteratur, der potentielt kan bidrage med nye eller alternative lugtemissionsfaktorer. Litteraturstudiet fokuserer på perioden mellem 2006 og 2026.

2.1 Undersøgelse af lugt fra flytrafik i Københavns Lufthavn 2006

I det tidligere studie *Undersøgelser af lugt fra flytrafik i Københavns Lufthavn*, udført af Fenger et al. (2006), blev der udviklet en metode til bestemmelse af lugtemissioner fra Københavns Lufthavn. Metoden er baseret på direkte målinger af lugtemissioner fra en udvalgt flymotor kombineret med detaljerede oplysninger om flytrafik, motortyper og flyenes bevægelser på lufthavnsområdet.

Luftprøver blev opsamlet fra repræsentative flymotorer under forskellige driftsforhold og analyseret ved olfaktometri efter de danske og europæiske standarder for lugtmåling (MEL-13). På baggrund af et trænet lugtpanel vurderinger blev der bestemt lugtemissionsfaktorer, som efterfølgende blev relateret til flymotorernes emissioner af kulbrinter (HC). Lugtemissionsfaktoren blev bestemt til 57 LE/mg HC og faldt inden for et spænd af 23 og 110 LE/mg HC for lugtemissionsfaktorer, som var bestemt i en række studier for tyske lufthavne (ArguMet 2004; Bahmann et al., 1994; Hüttig et al., 1996). Lugtemissionsfaktoren på 57 LE/mg HC blev anvendt til at estimere lugtemissioner for de øvrige motortyper, der indgik i lufthavns flytrafik.

Flyoperationerne blev digitaliseret på et geografisk gitter med en opløsning på 50 × 50 m. For hvert fly blev position og tidsforbrug i hver enkelt driftsfase beregnet for de forskellige driftsfaser taxi, ventetid, landing, start og indflyvning. Ved at kombinere disse oplysninger med motortypespecifikke HC-emissionsfaktorer pr. driftsfase blev den samlede lugtemission beregnet som funktion af tid og sted på lufthavnsområdet.

Slutteligt blev der foretaget atmosfæriske spredningsberegninger med OML-Multi-modellen til at bestemme lugtkoncentrationerne i lufthavns omgivelser.

Udover en projektrapport resulterede undersøgelsen også i to artikler publiceret i internationale videnskabelige tidsskrifter. Metoden for lugtemissionsopgørelse for Københavns Lufthavn blev publiceret af Winther et al. (2006), og spredningsberegningerne for lugtemissionerne blev publiceret af Fenger et al. (2006b). De to artiklers metoder, data og resultater gennemgik et internationalt peer review som en normal del af optagelsesprocessen for artiklerne.

2.2 Litteraturstudie for perioden 2006 til 2026

Litteraturstudiet er blevet udført vha. de videnskabelige værktøjer og søgemaskiner www.webofscience.com, elicit.com og scite.ai.

På www.webofscience.com blev der udført en søgning med søgeordene 'odour', 'emissions' og 'airports', og alle relevant artikler er blevet listet. På elicit.com og scite.ai er der stillet videnskabelige spørgsmål i stil med 'Are there any scientific studies on odour emissions from airports?', 'How does odour emissions relate to emission of gasses and particles emitted from airplanes?', og 'Odour emission factors for aircrafts'. Disse søgninger blev anvendt som supplement til den systematiske søgning i Web of Science og havde til formål at identificere yderligere relevant litteratur.

Litteratursøgningen på www.webofscience.com identificerede 107 relevante publikationer fra peer-review tidsskrifter og conference proceedings, og heraf var 61 publikationer fra perioden 2006-2026. De 61 publikationer blev gennemgået og kategoriseret efter deres relevans for lugtemissioner fra lufthavne. Referencer til publikationerne er vist i Bilag 1. I alt 38 publikationer omhandlede emissioner og luftkvalitet i og nær lufthavne, fem publikationer omhandlede drivhusgasemissioner fra lufthavne, otte publikationer var ikke relevante for det aktuelle litteraturstudie, og elleve publikationer omhandlede lugtemissioner og lugtgener.

Ved nærmere gennemgang viste det sig imidlertid, at kun fem af de elleve publikationer om lugtemissioner eller lugtgener havde en direkte relation til lufthavne. De øvrige publikationer omhandlede andre typer af lugtkilder eller miljøer. Capelli et al. (2012) fokuserede eksempelvis på olfaktometri og lugtgener fra industrielle kilder i den italienske by Terni, mens Capelli et al. (2014) omhandlede lugtemissionsfaktorer på et mere generelt niveau. Piringer et al. (2019) undersøgte betydningen af klimaændringer for spredningen af lugtemissioner fra husdyrbrug. To publikationer omhandlede lugtgener fra lossepladser (Al-Ahmad et al., 2012; Di Nardo et al., 2013), mens Chandra et al. (2024) undersøgte lugtgener og luftkvalitet i togvogne.

Af de fem publikationer med direkte relation til lugtemissioner og lugtgener fra og i lufthavne beskrev to publikationer det tidligere lugtstudie fra Københavns Lufthavn i 2006 (Fenger et al., 2006b; Winther et al., 2006). Yderligere to publikationer fokuserede på lugt i selve flykabinen (Felten et al., 2013; Nasoulis et al., 2024). Dermed blev kun én publikation identificeret som muligvis relevant for den aktuelle undersøgelse (Bennett og Christie, 2007).

I studiet udført af Bennett og Christie (2007), anvendtes LIDAR-målinger som input til en indledende beskrivelse af modellering af lugt fra dækslid ved flylandinger i Heathrow og Manchester Airport. Studiet er imidlertid af foreløbig karakter og indeholder ikke resultater for lugt, der kan anvendes i den nuværende undersøgelse.

Supplerende søgninger med videnskabelige spørgsmål i Elicit og Scite blev foretaget. I disse værktøjer blev der stillet åbne, videnskabeligt orienterede spørgsmål med fokus på lugtemissioner fra fly og lufthavnsaktiviteter. Værktøjerne identificerer og prioriterer litteratur på baggrund af spørgsmålenes indhold og relevans frem for alene at matche specifikke søgeord.

Søgningerne gav adskillige relevante resultater, dog primært om emissioner af gasser og partikler samt påvirkning af luftkvalitet og helbredseffekter fra

lufthavne (e.g. Bendtsen et al., 2021; Chen et al., 2024; Owen et al., 2022). Når lugtemissioner og lugtgener blev inddraget, var det dog typisk i studier af andre typer af industrier og lugtkilder, såsom landbrug og rensningsanlæg (e.g. Grzelka et al., 2019; Piccardo et al., 2022). Disse studier blev gennemgået med henblik på at vurdere, om de indeholdt metoder eller tilgange, der kunne være relevante for undersøgelser af lugt fra lufthavne.

Konklusionen af de supplerende søgninger i [Elicit](#) og [Scite](#) er, at der ikke findes nyere studier, som indeholdt metodebeskrivelser af lugtemissionsfaktorer eller opgørelser af lugtemissioner fra lufthavne.

Samlet set viser litteraturstudiet, at der kun findes meget begrænset publiceret litteratur om lugtemissioner fra flytrafik og lufthavne, og at der ikke er identificeret nyere studier, som kan anvendes direkte til fastlæggelse af lugtemissionsfaktorer til brug for den nuværende undersøgelse. Derfor er der i nærværende studie fortsat anvendt en lugtemissionsfaktor på 57 LE/mg HC, som tidligere bestemt i Fenger et al. (2006).

3 Emissionsopgørelse for Københavns Lufthavn

Emissionsopgørelsen for lufthavnen indeholder brændstofforbrug og HC- og lugtemissioner fra aktiviteter, der udføres med hovedmotorer for fly (drift og motoropstart) og hjælpemotorer (APU, Auxiliary Power Unit), opstart af hovedmotorer og flytankning.

Opgørelsen er detaljeret opdelt i et 5 m x 5 m gitternet-system, og indeholder hver gittercelles aktivitetsopdelte brændstofforbrug og emissioner med angivelse af tidspunkt for de enkelte udslip.

Opgørelsens fremgangsmåde har været at fremskaffe detaljerede aktivitetsdata og driftsinformationer for flyenes hovedmotorer og APU, opstart af hovedmotorer og flytankning samt oplysninger om tid og sted for deres aktiviteter. Efterfølgende er oplysningerne digitaliseret ind på et elektronisk kort over lufthavnen.

I projektet, er motorspecifikke HC-emissionsfaktorer bestemt for flyenes hovedmotorer, og for flyenes APU-motorer, er HC-emissionsfaktorer fastlagt efter flystørrelse og -alder. For opstart af hovedmotorer og flytankning, er HC-emissionsfaktorerne en funktion af hhv. hovedmotorstørrelse og tanket mængde flybrændstof.

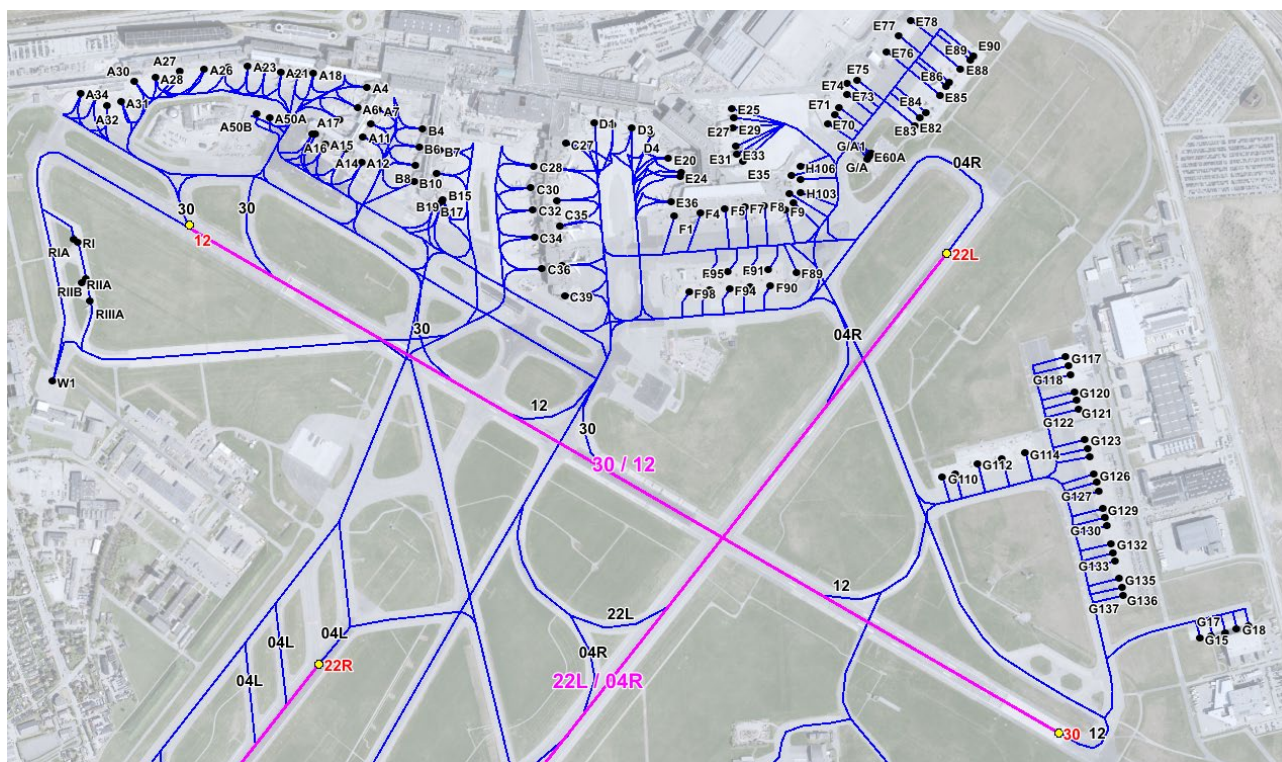
Lugtemissionsfaktorer for aktiviteterne udført med hovedmotorer for fly, APU, opstart af hovedmotorer og flytankning bestemmes ved at kombinere de opstillede HC-emissionsfaktorer med HC-relaterede lugtemissionsfaktorer for de forskellige aktivitetstyper.

Ved at kombinere emissionsfaktorer og driftstider er emissionsrater i gram pr. sekund afledt. De endelige emissioner beregnes som produktet af emissionsraten og tidsrum for aktiviteten i den enkelte celle.

Flydigitaliseringsmodellen og modellerne til beregning af emissionsfaktorer og samlede emissioner i dette projekt er videreudviklet ud fra modeller opbygget i tidligere projekter til undersøgelse af lugtgener fra flymotorer og APU i Københavns Lufthavn (Fenger et al., 2006; Winther et al., 2006), arbejdsmiljø for lufthavnsmedarbejdere (Ellermann et al., 2011), detaljerede beregninger af partikler og partikelantal (Winther et al., 2014 og 2015), detaljeret kortlægning af luftforurening fra lufthavnen i 2023 udført for Tårnby Kommune (Lansø et al., 2024) og detaljerede beregninger af ændringerne i luftkvalitet ved anvendelse af nye standpladser i lufthavnens nordøstlige område (Winther og Lansø, 2025).

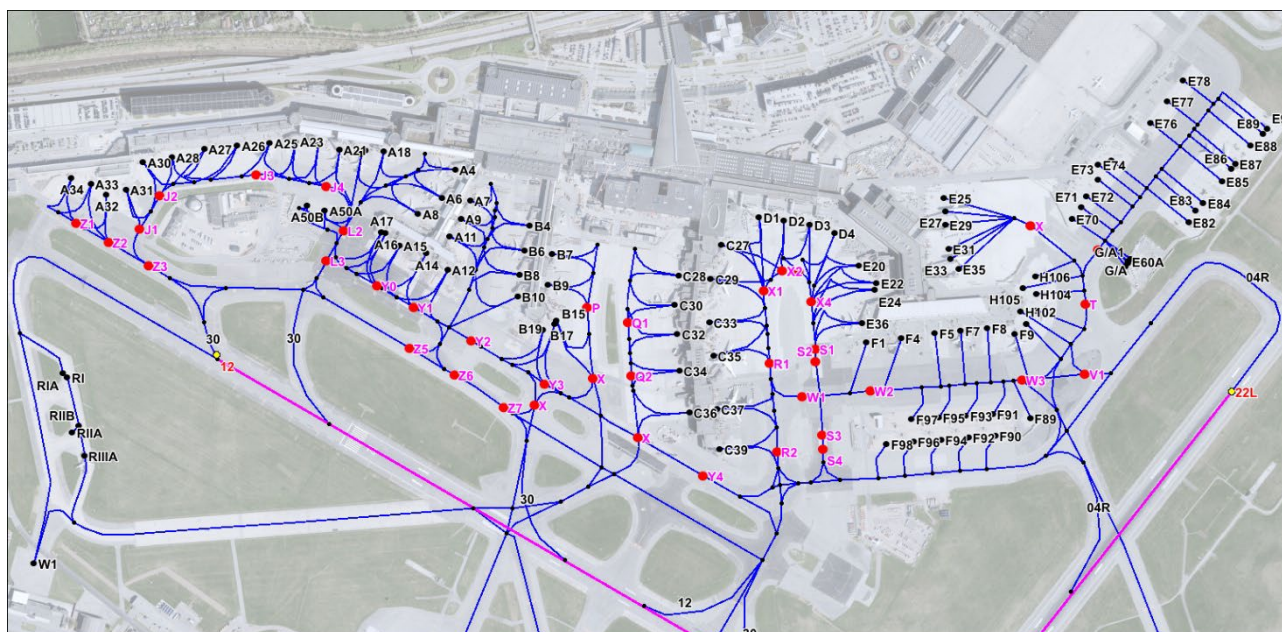
I forhold til den tidligere lugtundersøgelse i Københavns Lufthavn (Fenger et al., 2006; Winther et al., 2006) er lugtemissionerne for APU-motorer mere præcist bestemt pga. bedre HC-emissionsdata for APU-motorer, og derudover er lugtemissionsopgørelsen udvidet med lugtemissioner for opstart af hovedmotorer og tankning af fly.

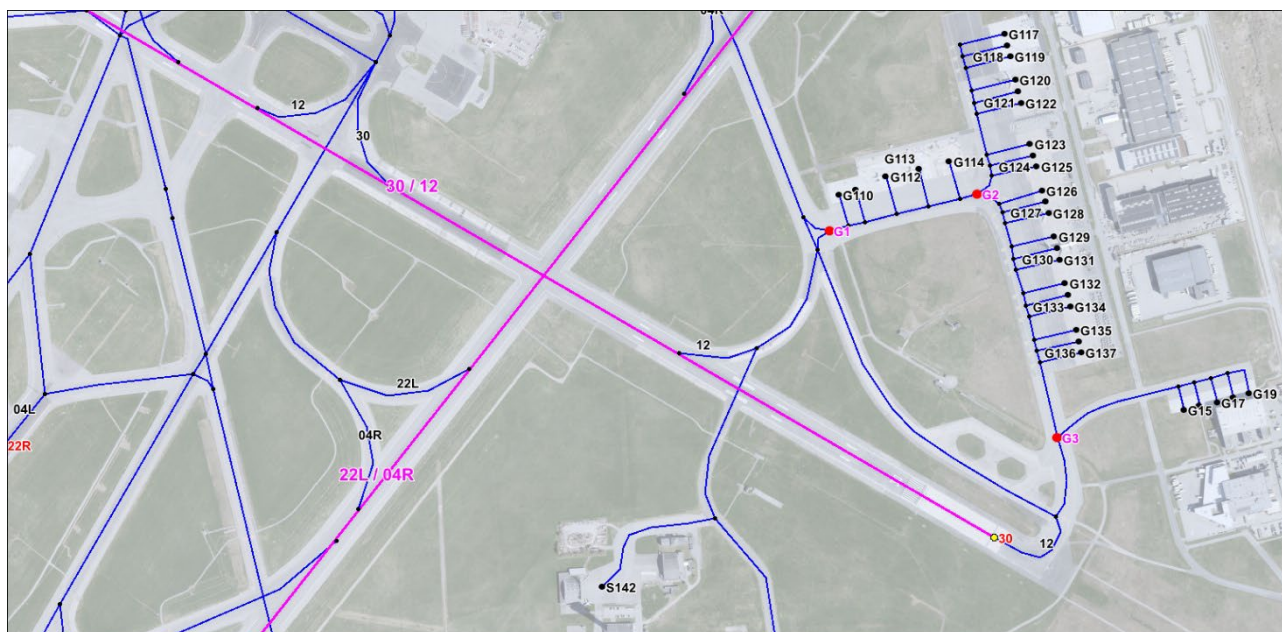
Figur 3.1 viser det detaljerede kort over Københavns Lufthavn.



Figur 3.1. Detaljeret kort over Københavns Lufthavn nær terminalområderne med angivelse af standpladser (sorte punkter angivet med bogstaverne A-G og et tal), rulleveje (blå linjer) og et udsnit af start og landingsbaner (lyserøde linjer)

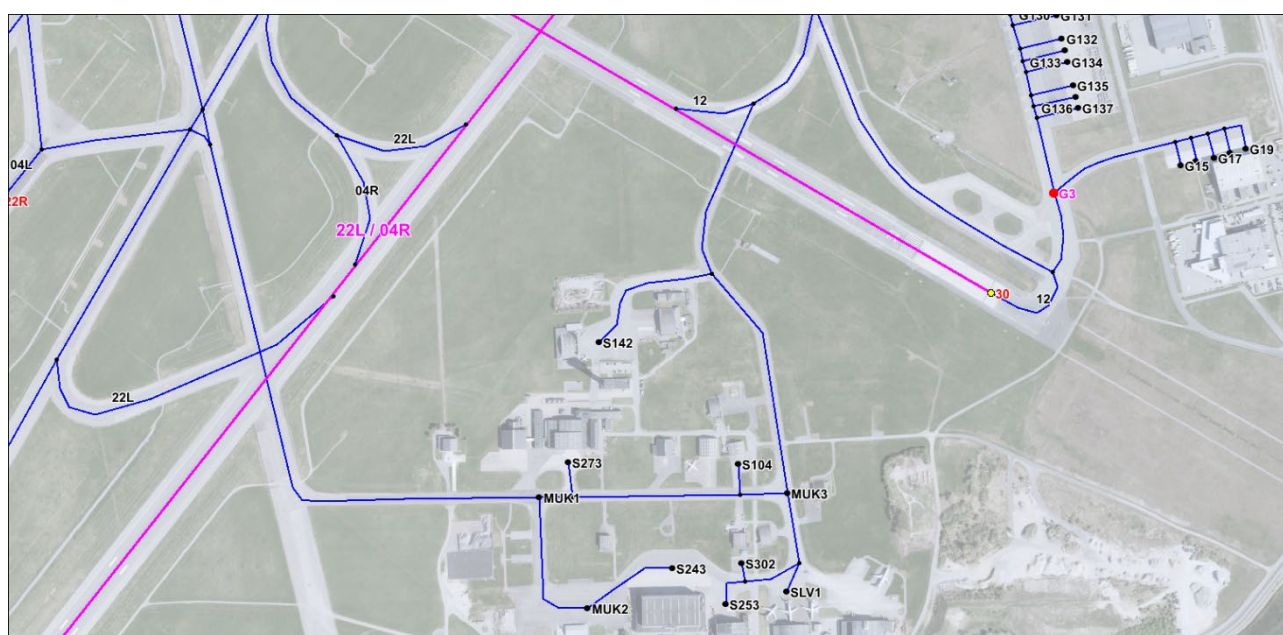
Figur 3.2 viser det detaljerede kort over Københavns Lufthavn nær terminalområderne.





Figur 3.3. Detaljeret kort over Københavns Lufthavn der viser godsområdet med angivelse af standpladser (sorte punkter angivet med bogstav G og et tal), opstartsmærker (røde punkter), rulleveje (blå linjer) og et udsnit af start og landingsbaner (lyserøde linjer).

Figur 3.4 viser det detaljerede kort over Københavns Lufthavn, hvor standpladser i den sydlige del af lufthavnen er vist.



Figur 3.4. Detaljeret kort over Københavns Lufthavn der også viser lufthavnsens sydlige del med angivelse af standpladser (sorte punkter angivet ved "S", "MUK" eller "SLV" og et tal), opstartsmærke (rødt punkt), rulleveje (blå linjer) og et udsnit af start og landingsbaner (lyserøde linjer).

3.1 Aktivitetsdata

3.1.1 udvælgelse af repræsentative flyoperationsdage for emissionsopgørelsen

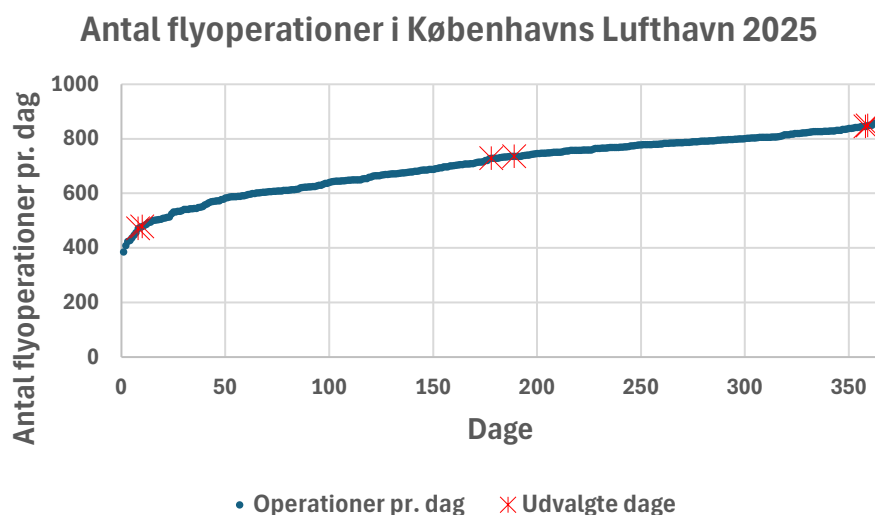
Som input til lugtberegningerne i projektet blev der udvalgt seks repræsentative dage med flyaktiviteter i Københavns Lufthavn i 2025; to dage for et lavt flyaktivitetsniveau, to dage for et middel flyaktivitetsniveau og to dage for et højt flyaktivitetsniveau. For hvert flyaktivitetsniveau, var det planen at vælge

en dag med flyoperationer der udelukkende bruger baneretning 04L/R og en dag med flyoperationer der udelukkende bruger baneretning 22L/R.

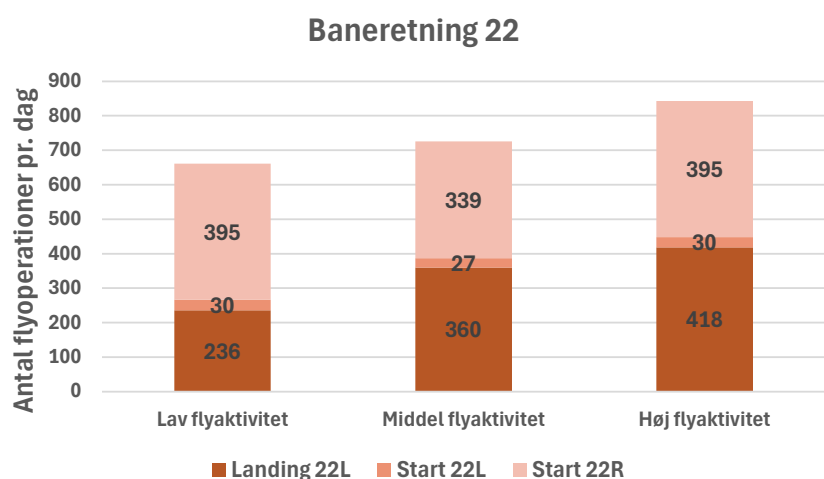
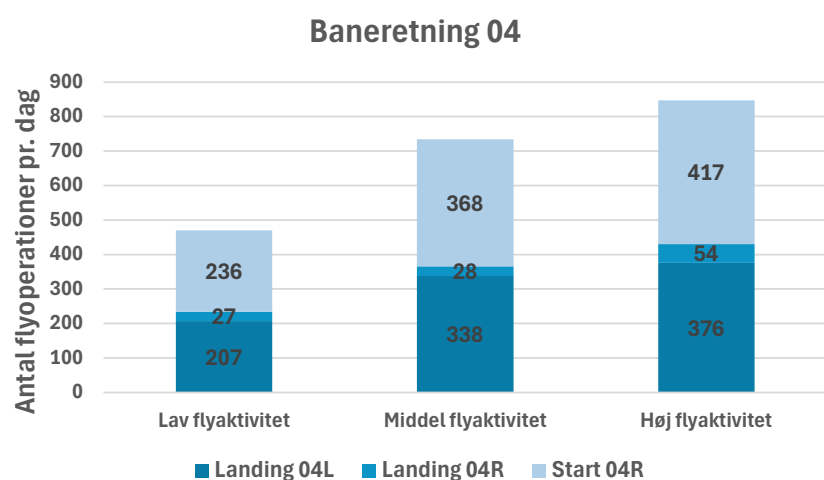
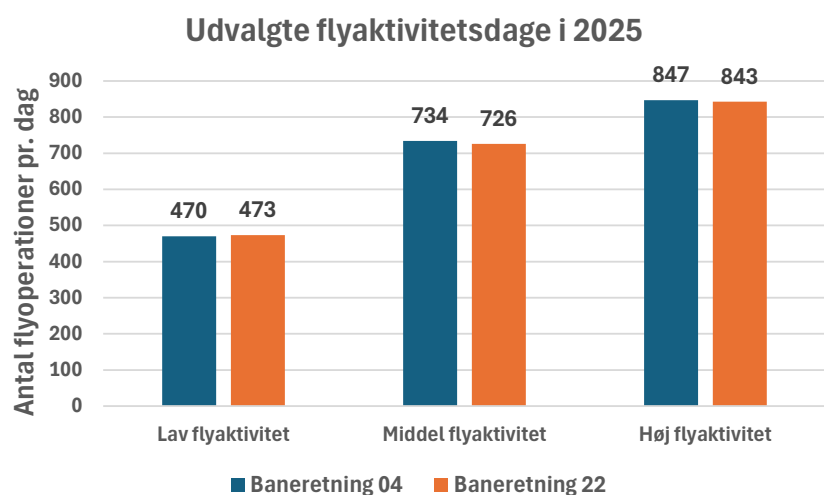
Figur 3.5 viser data leveret af Københavns Lufthavn for antallet af flyoperationer i Københavns Lufthavn i 2025. De viste flyaktivitetsdata på figur 3.5 er sorteret efter antal operationer pr. dag.

Figuren viser også, markeret med kryds, de seks repræsentative dage med flyoperationer, der er udvalgt i projektet. På figur 3.5 ses, at de seks dage er udvalgt, så de passende repræsenterer dage med hhv. lave, middel og høje flyaktivitetsniveauer i 2025, når antallet af flyoperationer for hele året tages i betragtning. I figur 3.6 er de specifikke antal flyoperationer vist for de udvalgte flyaktivitetsdage, samlet med angivelse af baneretning (04 eller 22), og fordelt på starter og landinger for hver af de to baneretninger.

For de seks udvalgte dage har Københavns Lufthavn leveret detaljerede data for flyaktiviteterne til brug for de videre lugtberegninger i projektet. I data indgår bl.a. flytype, registreringsnummer, flyoperatør, standplads, off/on block tid, angivelse af start-/landings tidspunkt for start/landing og bane.

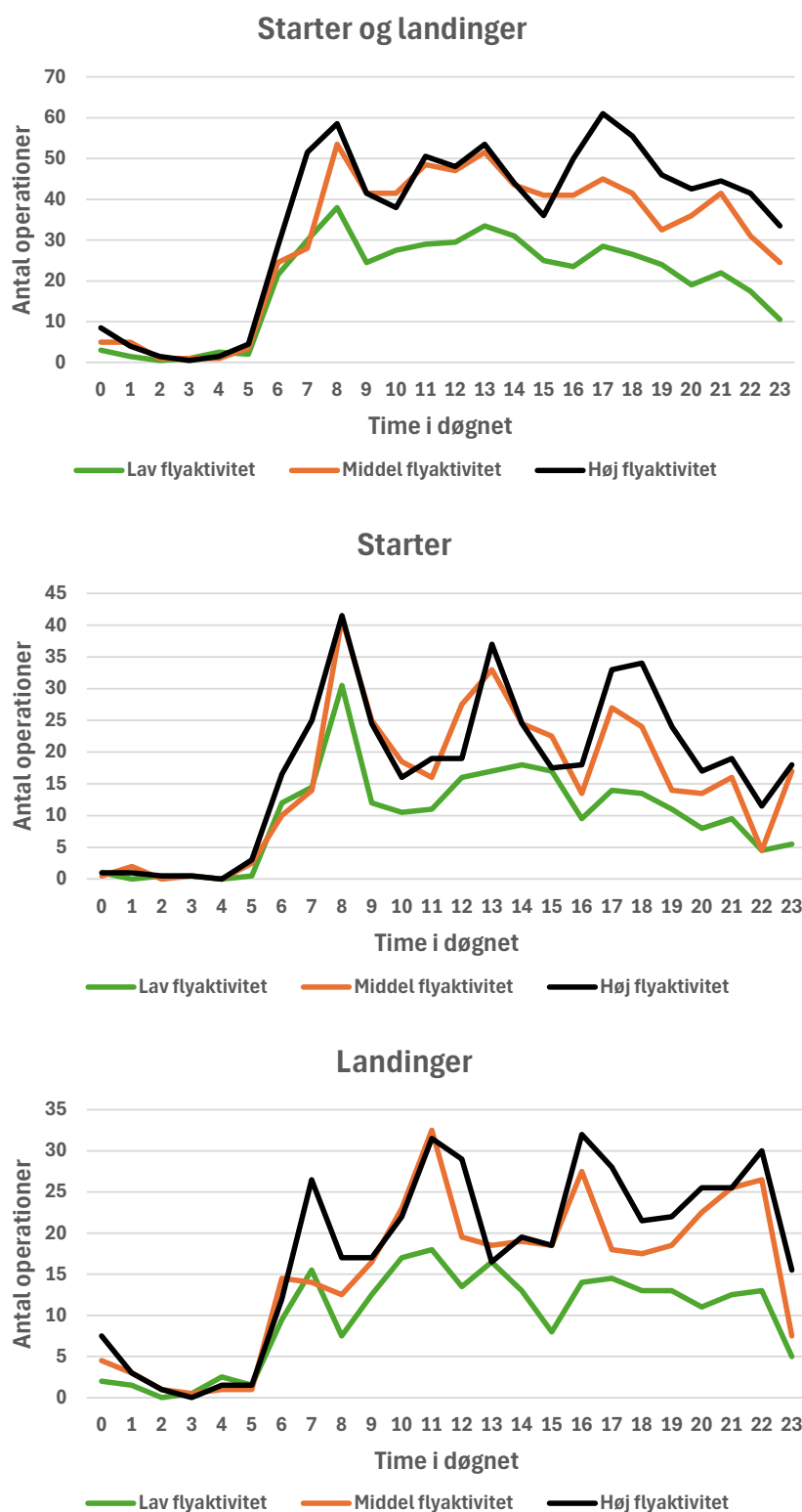


Figur 3.5. Antallet af flyoperationer i Københavns Lufthavn i 2025, sorteret efter antal operationer pr. dag. De seks udvalgte dage, der repræsenterer dage med hhv. lave, middel og høje flyaktivitetsniveauer i 2025, er angivet med kryds på figuren.



Figur 3.6. Det specifikke antal flyoperationer for de udvalgte dage, der repræsenterer dage med hhv. lave, middel og høje flyaktivitetsniveauer i 2025, med angivelse af baneretning (04 eller 22).

Figur 3.7 viser antallet af starter, landinger og det samlede antal starter og landinger fordelt over døgnets timer, beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgn for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.



Figur 3.7. Antallet af starter, landinger og det samlede antal starter og landinger fordelt over døgnet, beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgne for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

3.1.2 Brug af APU

Tidsrummet for brugen af hjælpemotorer (APU: Auxiliary Power Unit) i projektet følger de tidsrum, der er anvist af ICAO (International Civil Aviation Organization) i "Airport Air Quality Guidance Manual (doc. 9889, second edition)" (ICAO, 2020). ICAO's anslåede APU-tidsrum er vist i tabel 3.1. Off-

block tidspunktet er det tidspunkt, hvor flyet forlader gaten, og for APU opdeler ICAO det samlede før off-block tidsrum i "APU-opstart" og "Boarding", der svarer til to forskellige APU-belastninger.

Tabel 3.1. Tidsrum i sekunder (s) for forskellige driftsfaser for flyenes APU.

APU-belastning →	Ankomst Normal	APU-opstart Opstart	Boarding Normal	Under push-back Normal	Hovedmotorstart Høj
Antal flymotorer	s	s	s	s	s
2	300	180	216	Beregnes	35
4	300	180	318	Beregnes	140

For flyafgange, er ICAO's anslåede tidsrum, vist i tabel 3.1, samlet set lidt større end de normale 5 minutters APU-drift før off-block-tidspunktet, som Københavns Lufthavn generelt tillader. Det skal bemærkes, at lufthavnen giver tilladelse til at bruge APU i længere tid end 5 minutter før off-block-tid, når udetemperaturen er hhv. under -10 °C og over 25 °C. I disse tilfælde er de tilladte tidsrum i Københavns Lufthavn 45 minutter for store fly og 15 minutter for små fly.

Brugen af lidt større APU-tidsrum før off-block-tidspunktet i beregningen end de normale 5 minutter kan altså retfærdiggøres over et helt år, da der alene pga. vejret vil være perioder i lufthavnen, hvor flyenes APU er i drift i længere tid.

Efter off-block trækkes flyene, der har brug for at blive trukket, frem til opstartsmærket, hvorefter de slippes af push-back traktoren. I dette tidsrum med APU i normal drift. Under motoropstart (se afsnit 3.1.3) kører APU'en ved høj belastning i det angivne tidsrum (tabel 3.1).

3.1.3 Opstart af hovedmotorer

Figur 3.2 og 3.3 viser detaljerede kort over terminal- og godsområdet med afmærkning af standpladser, opstartsmærker for hovedmotorer, rulleveje og et udsnit af start-/landingsbanerne. I modelberegningerne bruges som generelt princip, at flyene, når de har brug for push-back, bliver trukket af push-back traktoren med ca. 5 km/t (1,5 m/s) langs de blå linjer hen til det anviste opstartsmærke, hvorefter flyene slippes af push-back traktoren.

Lufthavnen oplyser, at flyene starter hovedmotorerne allerede på off-block-tidspunktet ved standpladsen¹, undtagen fly parkeret ved standpladserne i "Mike gården" (A7, A9, A11, B4, B6, B8, B10; se figur 3.2), hvor dette ikke er tilladt.

3.1.4 Tankning af fly

Påfyldningen af flybrændstof på flyene sker som en del af flyhåndlingen ved standpladsen efter landing.

Driftstiderne for tankningsudstyret i lufthavnen er vist i tabel 3.2 og er opdelt i overordnede flystørrelsesgrupper med bogstavbetegnelserne B-E for flytyper, der indgår i projektets operationsdata.

¹ Af modelmæssige hensyn er APU-emissionerne samt hovedmotorernes HC-emission under hovedmotoropstart lagt på det anviste opstartsmærke, når flyet behøver push-back, men skal i virkeligheden placeres ved standplads i dette tilfælde.

Tabel 3.2. Driftstider for tankningsudstyr i Københavns Lufthavn.

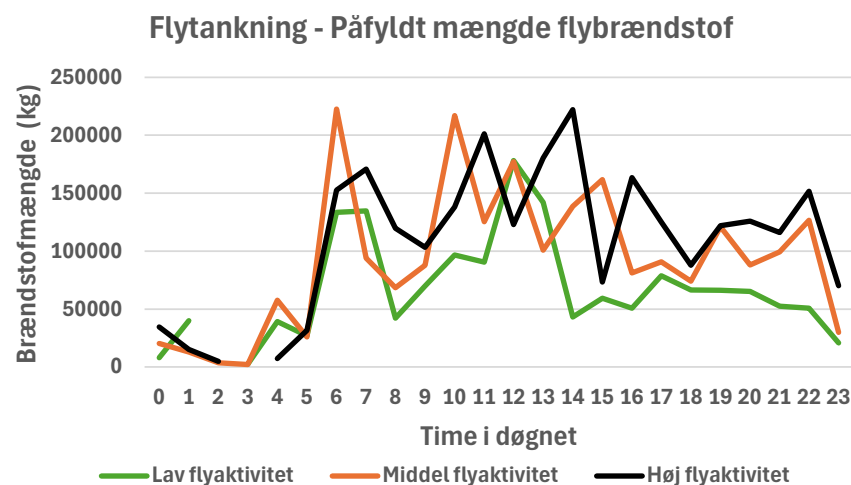
	Ankomst			
Flygruppe →	B	C	D	E
Handlingsperiode (min) →	15	20	30	40
Type handlingsgrej	Driftstider (min)			
Fuel (dispenser truck)	10	15	30	50
Fuel (refuelling truck)	10	15	30	50

Der benyttes tankvogn til brændstoppåfyldning af flyene på de standpladser, hvor der ikke er lagt brændstoftør.

Det har ikke været praktisk muligt at indsamle informationer om den tankede mængde flybrændstof for de enkelte flyafgange, der indgår i flyaktivitetsdata for de seks udvalgte dage i projektet.

I stedet for estimeres den tankede mængde flybrændstof pr. flytype ud fra det samlede brændstofforbrug for de enkelte flytyper beregnet i de nationale emissionsopgørelser for Københavns Lufthavn i 2025 (Nielsen et al., 2026), divideret med antallet af starter pr. flytype i lufthavnen i 2025². Ved at bruge denne beregningsmetode bliver den beregnede gennemsnitlige tankede mængde for den enkelte flytype pr. flyafgang vægtet efter flytypens fordeling på destinationer over hele året.

Figur 3.8 viser den tankede mængde flybrændstof (kg) fordelt over døgnet timer, beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgn for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.



Figur 3.8. Tanket mængde flybrændstof (kg) fordelt over døgnet timer beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgn for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

² Der er generelt en fin overensstemmelse mellem den rapporterede mængde brændstof, der leveres til lufthavnen, og efterfølgende tankes på flyene, og det beregnede brændstofforbrug for turene ud af lufthavnen i den danske emissionsopgørelse (Nielsen et al., 2026).

3.2 Digitalisering af aktivitetsdata

Tabel 3.3 viser inddelingen af operationstyperne udført med de enkelte motortyper samt den tilhørende motorbelastning, der er benyttet ved digitaliseringen af bevægelserne med flyenes hovedmotorer og APU i Københavns Lufthavn.

Tabel 3.3. Motortyper, operationstyper og motorbelastning for motorer i Københavns Lufthavn.

Motor	Operationstype	Motorbelastning
APU	APU ankomst	Normal running
APU	APU opstart	Start-up
APU	APU boarding	Normal running
APU	APU hovedmotorstart	High load
APU	APU ved push-back	Normal running
Hovedmotor	Taxi ankomst (taxi way)	Idle
Hovedmotor	Taxi afgang (taxi way)	Idle
Hovedmotor	Taxi afgang (queing)	Idle
Hovedmotor	Landing (runway deceleration)	Idle
Hovedmotor	Landing (runway taxi)	Idle
Hovedmotor	Take-off (runway)	Take-off
Hovedmotor	Landing (descent)	Idle
Hovedmotor	Take-off (climb out)	Take-off
Hovedmotor	Hovedmotor ved motorstart	Idle
Hovedmotor	Hovedmotor ved push-back	Idle

3.2.1 Flyoperationer

Til projektet er der udarbejdet et elektronisk kort over lufthavnens område. I flyoperationsdata (se afsnit 3.1.1) indgår bl.a. flytype, registreringsnummer, motortype, maksimal startvægt (MTOM: Maximal Take Off Mass), standplads, off/on block-tidspunkt, angivelse af start/landing, tidspunkt for start/landing og den benyttede bane 04 (Left/Right) og 22 (Left/Right). Ved den efterfølgende digitalisering er der brugt et gitternet på 5 m x 5 m til understøtning af de videre spredningsberegninger.

På figur 3.1-3.4, er alle standpladser markeret med nummerbetegnelse. Opstartsmærkerne er desuden markeret som røde punkter på figur 3.2-3.4. Flyenes rulleveje er vist med blå linjer. De øvrige sorte punkter er knuder i det digitaliserede vejnet.

De seks start-/landingsbaner 22L, 22R, 04L, 04R, 12 og 30 er nummereret efter kompasretningen og med højre/venstre betegnelse til skelnen mellem de to parallelle baner. Fra hver standplads er der tegnet en rute, der fører hen til det fælles start-/slutpunkt for passende grupper af standpladsers videre taxifart ad præferencerulleveje til og fra start-/landingsbanerne.

Hovedmotorernes længdemæssige placering henregnes til flyets midtpunkt.

Taxifart før start

Dokumentation fra Københavns Lufthavne A/S i forbindelse med kortlægning af støjproblemer er brugt til at fastlægge præferencerullevejene (Svane et al., 1997), og derudover er præferencerulleveje fastlagt af Routeware for nyere standpladser i lufthavnen ved senere udvidelser. Til at fastlægge tidsforløbet og opholdet i de enkelte beregningsceller er som udgangspunkt brugt en fast taxihastighed på 8 m/s for alle fly. For hver taxifarttur mod start findes også en beregnet taxihastighed ud fra følgende ligning:

$$v_{taxifart} = \frac{l_r}{(t_s - t_{ob})} \quad (1)$$

Hvor $v_{taxifart}$ = beregnet taxihastighed, l_r = rullevejslængde, t_s = tidspunkt for start, t_{ob} = off-block-tid. I tilfælde hvor den beregnede taxihastighed er mindre end 8 m/s, regnes forskellen mellem taxitid ved 8 m/s og den sande taxitid som køtid på startstedet. Er den beregnede taxihastighed højere end 8 m/s, bruges den beregnede taxihastighed.

Start

Til beskrivelse af bevægelsen på startbanen anviser lufthavnsselskabet oplysninger om brugt banelængde under accelerationen og sluthastigheden, når hjulene slipper asfalten (pers. comm, Jeppesen, 2003). Flyene opdeles til dette brug i de samme seks vægtklasser; 0-30, 30-50, 50-70, 70-120, 120-300 og > 300 tons maksimal startvægt (MTOW), som benyttes i lufthavnens støjberegninger (Svane et al., 1997). For at kunne finde hvert flys tidsrum i hver beregningscelle, skal accelerationen findes ud fra følgende ligning:

$$a_s = \frac{v_s^2}{2 \cdot l_s} \quad (2)$$

hvor a_s = acceleration, v_s = sluthastighed, l_s = forbrugt banelængde.

Stigning

Flyets bevægelse op til en lodret højde på 100 meter over startbanen medtages i digitaliseringen. Dette er valgt, da det er estimeret, at emissioner op til en højde på 100 m vil kunne have en påvirkning af koncentrationerne ved overfladen i det valgte område. I vandret plan beskrives flyets kurs som en lineær forlængelse af startbanen. Flyets fart antages at være konstant fra hjulene slipper startbanen og til det tidspunkt, hvor flyet er steget 100 meter. For de seks vægtklasser regnes med stigningsprocenter, der øges fra 8 til 18 %, i spring af 2 % med faldende vægtklasser. Medtagelsen af den første del af flyenes stigning forlænger området med luftemissioner fra flyene med mellem 556 og 1.250 meter i vandret plan afhængig af flyenes vægt.

Indflyvning

Under indflyvning medtages flyets bevægelse fra en lodret højde på 100 meter over landingsbanen. Hastigheden antages at være konstant og lig hastigheden, når hjulene berører asfalten ved landing. I vandret plan antages flyets kurs at være en ret linje sammenfaldende med landingsbanens orientering. Medtagelsen strækker området med luftemissioner fra flyene til omkring 3.300 meter regnet i vandret plan.

Landing

Stedet på banen for landing antages at være det samme som stedet for start, når samme bane bruges til den omvendte operation. Ved landing findes hastigheden, når hjulene berører asfalten i de seks vægtklasser, som omtalt ved beskrivelsen af flyenes start (personlig kommunikation Jeppesen, 2003). Det antages, at nedbremsningen sker med en konstant deceleration, der numerisk set er den samme som startaccelerationen. Decelerationen antages at fortsætte, indtil flyenes hastighed kommer ned på 20 m/s. Denne hastighed fortsætter flyene med, indtil første afkørselsmulighed opstår, hvorefter taxihastigheden findes ud fra førnævnte formel. Den forbrugte banelængde ved nedbremsning til 20 m/s findes som:

$$l_L = \frac{v_L^2 - v_{20}^2}{2 \cdot a_L} \quad (3)$$

hvor a_L = acceleration, v_L = landingshastighed, v_{20} = hastighed efter nedbremsning (20 m/s), l_L = forbrugt banelængde under nedbremsning.

Taxifart efter landing

Efter afkørsel fra landingsbanen findes taxihastigheden som:

$$v_{taxifart} = \frac{l_r}{(t_{ob} - t_s)} \quad (4)$$

Hvor $v_{taxifart}$ = beregnet taxihastighed, l_r = rullevejslængde, t_s = tidspunkt for afkørsel, t_{ob} = on-block-tid. I modsætning til taxifarten før start bruges der ikke en fast taxihastighed efter landing. Den beregnede hastighed kan godt være større end 8 m/s, og omvendt vil en evt. køtid blot bidrage til at sænke den gennemsnitlige taxihastighed.

3.2.2 APU, push-back-traktor og hovedmotoropstart

Brugen af APU efter ankomst, under APU-opstart og ved boarding sker ved standpladsen (jf. tabel 3.1). APU'ens højdemæssige placering er for alle flytyper anslået til halvdelen af halerorets højde. APU'ens længdemæssige placering regnes for nemheds skyld til flyets midtpunkt.

Push-back-traktoren trækker flyet med APU i drift (og med hovedmotorerne tændt) fra den enkelte standplads og frem til det tilknyttede opstartsmærke (jf. afsnit "Opstart af hovedmotorer"). Hastigheden er ca. 5 km/t (1,5 m/s) og foregår langs de blå linjer vist på figur 3.2 og 3.3. Den længdemæssige placering af push-back-traktoren og hovedmotorens udstødning regnes også for nemheds skyld til flyets midtpunkt. Ved opstartsmærket står flyet stille under hovedmotoropstart (jævnfør afsnit "Opstart af hovedmotorer").

3.2.3 Tankning af fly

Påfyldningen af flybrændstof på flyene sker som en del af flyhandlingen ved standpladsen efter landing. Det er vanskeligt at fastslå præcist, hvornår brændstofpåfyldningen sker under den konkrete flyhandling, og tidsrummet for flytankningen jævnes derfor ud over hele handlingsperioden for flylanding.

Det antages ud fra handlingsselskabernes oplysninger, at handlingsaktiviteterne foregår på højre side af flyet inden for et areal, der udspændes af flyets længde og højre vingebredde.

3.3 Emissionsfaktorer

Til brug for de videre brændstof-, HC- og lugtemissionsberegninger er faktorer for brændstofforbrug, HC-emissioner og lugtemissioner fundet for hovedmotorer og APU for de enkelte fly, der bruges i lufthavnen.

Derudover er HC- og lugtemissionsfaktorer for opstart af hovedmotorer og tankning af fly opstillet for de enkelte flytyper til brug for emissionsberegningerne. En grundig beskrivelse af datagrundlaget og beregningsmetoderne for brændstof- og emissionsfaktorerne er givet i Bilag 2.

3.4 Beregningsmetode

HC- og lugtemissioner samt brændstofforbrug for alle celler og for alle tidspunkter af døgnet beregnes for hovedmotorer, APU, motoropstart og flytanking ved at kombinere emissionsrater med gitterbaserede koordinater, tidspunkter og tidsrum for aktivitet i de enkelte celler bestemt ved digitaliseringen af aktivitetsdata for fly og handlingsgrej i afsnit 3.2.

De beregnede lugtemissioner for hver enkelt celle og tidspunkt i døgnet bruges i den efterfølgende modellering af lugtkoncentrationen i lufthavnen og dens omgivelser. En grundig beskrivelse af beregningsmetoden er givet i Bilag 3.

3.5 Resultater

Tabel 3.4 viser de detaljerede resultater for brændstofforbruget, HC-emissionen og lugtemissionen pr. emissionskilde og operationstype, beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgn for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet. De opsummerede resultater pr. emissionskilde og samlede resultater er også vist i tabel 3.4.

Tabel 3.4. Detaljerede resultater for brændstofforbruget, HC-emissionen og lugtemissionen pr. emissionskilde og operationstype samt opsummerede resultater pr. emissionskilde, og samlede resultater beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgn for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

Motor/Kilde	Operationstype	Lav flyaktivitet			Middel flyaktivitet			Høj flyaktivitet		
		Fuel kg	HC kg	Lugt LE	Fuel kg	HC kg	Lugt LE	Fuel kg	HC kg	Lugt LE
Hovedmotor	Taxi ankomst (rullevej)	14.793	29,81	1,70E+09	23.284	43,14	2,46E+09	27.937	57,53	3,28E+09
Hovedmotor	Taxi afgang (rullevej)	15.330	31,24	1,78E+09	22.541	43,11	2,46E+09	26.355	55,05	3,14E+09
Hovedmotor	Taxi afgang (kø)	18.302	33,63	1,92E+09	28.741	48,72	2,78E+09	37.754	71,93	4,10E+09
Hovedmotor	Landing (bane opbremsning)	1.373	2,62	1,50E+08	2.023	3,59	2,05E+08	2.375	4,53	2,58E+08
Hovedmotor	Landing (bane taxifart)	801	2,03	1,16E+08	1.147	2,73	1,56E+08	1.345	3,44	1,96E+08
Hovedmotor	Take-off (bane)	21.006	1,17	6,68E+07	30.583	1,60	9,09E+07	35.574	2,01	1,15E+08
Hovedmotor	Landing (nedstigning)	2.243	4,86	2,77E+08	3.325	6,57	3,75E+08	3.890	8,48	4,83E+08
Hovedmotor	Take-off (opstigning)	5.511	0,30	1,74E+07	8.046	0,41	2,36E+07	9.309	0,52	2,97E+07
Hovedmotor	Hovedmotor ved push-back	2.933	5,04	2,87E+08	4.022	6,46	3,68E+08	4.673	7,75	4,42E+08
APU	APU ankomst	2.079	0,69	3,94E+07	3.197	1,09	6,20E+07	3.683	1,26	7,17E+07
APU	APU opstart	863	8,27	4,71E+08	1.324	13,14	7,49E+08	1.516	14,92	8,50E+08
APU	APU boarding	1.518	0,51	2,88E+07	2.315	0,79	4,51E+07	2.651	0,90	5,15E+07
APU	APU hovedmotorstart	292	0,08	4,55E+06	443	0,12	7,05E+06	507	0,14	7,97E+06
APU	APU ved push-back	520	0,18	1,00E+07	791	0,27	1,56E+07	909	0,31	1,78E+07
Hovedmotorstart	Hovedmotor ved motorstart	1.888	66,21	6,66E+08	2.725	100,23	9,79E+08	3.134	114,38	1,12E+09
Tankning	Tankning	-	15,59	1,22E+08	-	22,28	1,74E+08	-	25,41	1,98E+08
Hovedmotor	Total	82.291	110,72	6,31E+09	123.710	156,34	8,91E+09	149.213	211,24	1,20E+10
APU	Total	5.271	9,72	5,54E+08	8.070	15,42	8,79E+08	9.266	17,53	9,99E+08
Hovedmotorstart	Total	1.888	66,21	6,66E+08	2.725	100,23	9,79E+08	3.134	114,38	1,12E+09
Tankning	Total	-	15,59	1,22E+08	-	22,28	1,74E+08	-	25,41	1,98E+08
Samlet	Grand total	89.450	202	7,65E+09	134.505	294	1,09E+10	161.612	369	1,44E+10
Hovedmotor	% af total	92	55	82	92	53	81	92	57	84
APU	% af total	6	5	7	6	5	8	6	5	7
Hovedmotorstart	% af total	2	33	9	2	34	9	2	31	8
Tankning	% af total	-	8	2	-	8	2	-	7	1
Samlet	% af total	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Hovedmotor	%-stigning ift. lav aktivitet	0	0	0	50	41	41	81	91	91
APU	%-stigning ift. lav aktivitet	0	0	0	53	59	59	76	80	80
Hovedmotorstart	%-stigning ift. lav aktivitet	0	0	0	44	51	47	66	73	69
Tankning	%-stigning ift. lav aktivitet	-	0	0	-	43	43	-	63	63
Samlet	%-stigning ift. lav aktivitet	0	0	0	50	46	43	81	82	88

Tabel 3.5 viser de detaljerede emissionsfaktorer for HC og lugt pr. emissionskilde og operationstype for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet, afledt af resultaterne i tabel 3.4. De gennemsnitlige afledte emissionsfaktorer for HC og lugt pr. emissionskilde og samlet er også vist i tabel 3.5.

Tabel 3.5. Detaljerede emissionsfaktorer for HC og lugt pr. emissionskilde og operationstype samt gennemsnitlige afledte emissionsfaktorer for HC og lugt pr. emissionskilde og samlet afledt af de detaljerede resultater for lav, middel og høj flyaktivitet. EI HC er emissionsindekser for HC, angivet i gram HC pr. kg brændstof.

Motor/Kilde	Operationstype	Lav flyaktivitet		Middel flyaktivitet		Middel flyaktivitet	
		EI HC g/kg fuel	Lugtfaktor LE/gHC	EI HC g/kg fuel	Lugtfaktor LE/gHC	EI HC g/kg fuel	Lugtfaktor LE/gHC
Hovedmotor	Taxi ankomst (rullevej)	2,02	57000	1,85	57000	2,06	57000
Hovedmotor	Taxi afgang (rullevej)	2,04	57000	1,91	57000	2,09	57000
Hovedmotor	Taxi afgang (kø)	1,84	57000	1,70	57000	1,91	57000
Hovedmotor	Landing (bane opbremsning)	1,91	57000	1,77	57000	1,91	57000
Hovedmotor	Landing (bane taxifart)	2,53	57000	2,38	57000	2,55	57000
Hovedmotor	Take-off (bane)	0,06	57000	0,05	57000	0,06	57000
Hovedmotor	Landing (nedstigning)	2,17	57000	1,98	57000	2,18	57000
Hovedmotor	Take-off (opstigning)	0,06	57000	0,05	57000	0,06	57000
Hovedmotor	Hovedmotor ved push-back	1,72	57000	1,61	57000	1,66	57000
APU	APU ankomst	0,33	57000	0,34	57000	0,34	57000
APU	APU opstart	9,59	57000	9,93	57000	9,84	57000
APU	APU boarding	0,33	57000	0,34	57000	0,34	57000
APU	APU hovedmotorstart	0,27	57000	0,28	57000	0,28	57000
APU	APU ved push-back	0,34	57000	0,35	57000	0,34	57000
Hovedmotorstart	Hovedmotor ved motorstart	35,07	10065	36,78	9766	36,50	9822
Tankning	Tankning	-	7800	-	7800	-	7800
Hovedmotor	Total	1,35	57000	1,26	57000	1,42	57000
APU	Total	1,84	57000	1,91	57000	1,89	57000
Hovedmotorstart	Total	35,07	10065	36,78	9766	36,50	9822
Tankning	Total	0,00	7800	0,00	7800	0,00	7800
Samlet	Grand total		37841		37187		38967

De beregnede HC-emissionsniveauer for de enkelte delkilder kan generelt forklares ud fra størrelsen af de beregnede brændstofforbrug vist i tabel 3.4 og de brændstofrelaterede HC-emissionsfaktorer vist i tabel 3.5. De beregnede brændstofforbrug og HC-emissioner for de udvalgte flyaktivitetsdage afhænger af antallet af flyoperationer og de anvendte flytyper mht. flystørrelse, motorenergieffektivitet og brændstofrelaterede HC-emissionsfaktorer.

Lugtemissionerne for de enkelte delkilder afhænger af de beregnede HC-emissioner vist i tabel 3.4 og de HC-relaterede lugtemissionsfaktorer vist i tabel 3.5.

Figur 3.9 viser de samlede resultater for brændstofforbruget, HC-emissionen og lugtemissionen, beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgn for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

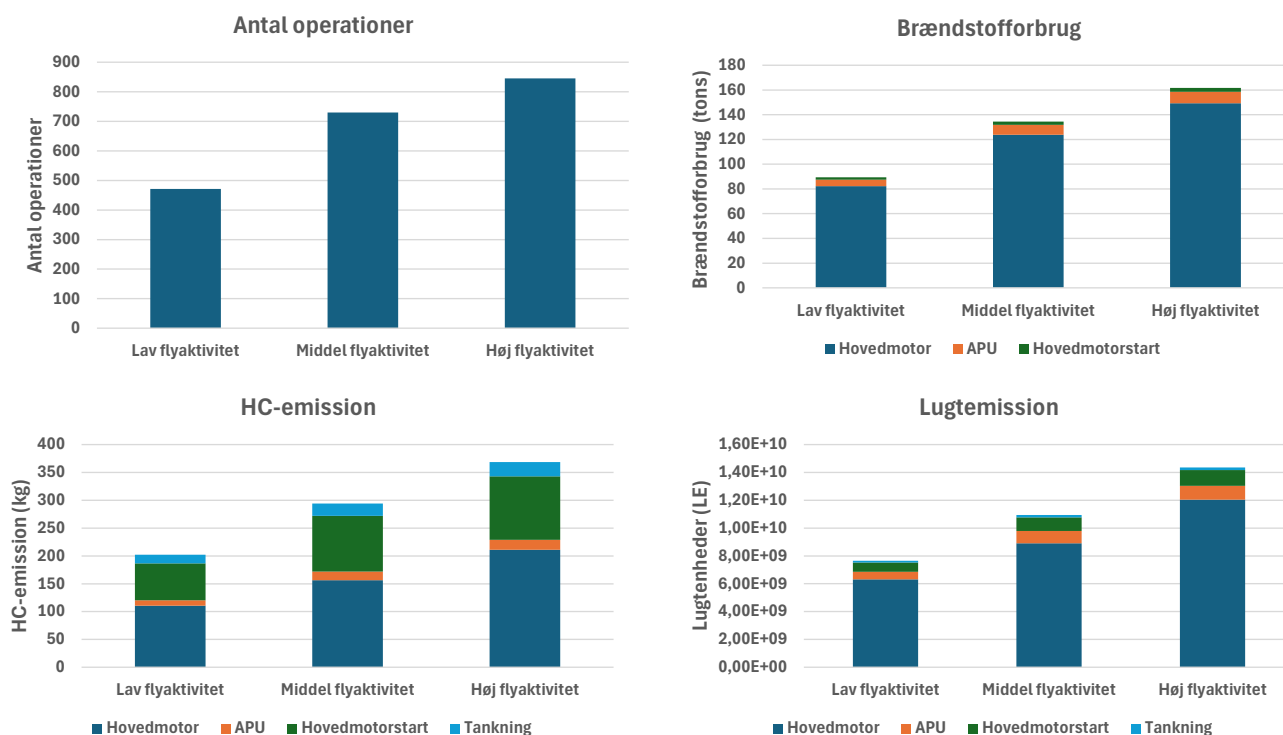
Operationsdata for de valgte dage med operationsdata i lufthavnen viser, at antallet af flyoperationer for en gennemsnitlig dag med høj flyaktivitet er 79 % højere end antallet af flyoperationer for en gennemsnitlig dag med lav flyaktivitet. De beregnede samlede brændstofforbrug, HC- og lugtemissioner er hhv. 81 %, 82 % og 88 % højere ved høj flyaktivitet sammenlignet med lav flyaktivitet.

Lugtemissionen stiger samlet set mere end HC-emissionen, når de to flyaktivitetsniveauer sammenlignes, fordi HC-emissionerne stiger mest for hovedmotorer (tabel 3.4). Hovedmotorer er langt den største kilde til HC-emissio-

nerne i lufthavnen og har en HC-relateret lugtemissionsfaktor, der er væsentligt større end den HC-relaterede lugtemissionsfaktor for hovedmotorstart og flytankning (tabel 3.5).

For lugtemissionerne, er følgende procentvise stigninger for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning beregnet i projektet for de udvalgte dage med middel og høj flyaktivitet set i forhold til de udvalgte dage med lav flyaktivitet (tabel 3.4 og figur 3.9).

For dagene med middel flyaktivitet, stiger lugtemissionerne for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning med hhv. 41 %, 59 %, 47 % og 43 % set i forhold til lugtemissionerne for dagene med lav flyaktivitet. For dagene med høj flyaktivitet stiger lugtemissionerne for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning med hhv. 91 %, 80 %, 69 % og 63 % set i forhold til lugtemissionerne for dagene med lav flyaktivitet (tabel 3.4 og figur 3.9).



Figur 3.9. Samlede resultater for brændstofforbruget, HC-emissionen og lugtemissionen beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgn for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

Figur 3.10 viser de beregnede procentandele for HC- og lugtemissioner for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning for de udvalgte dage med lav, middel og høj flyaktivitet.

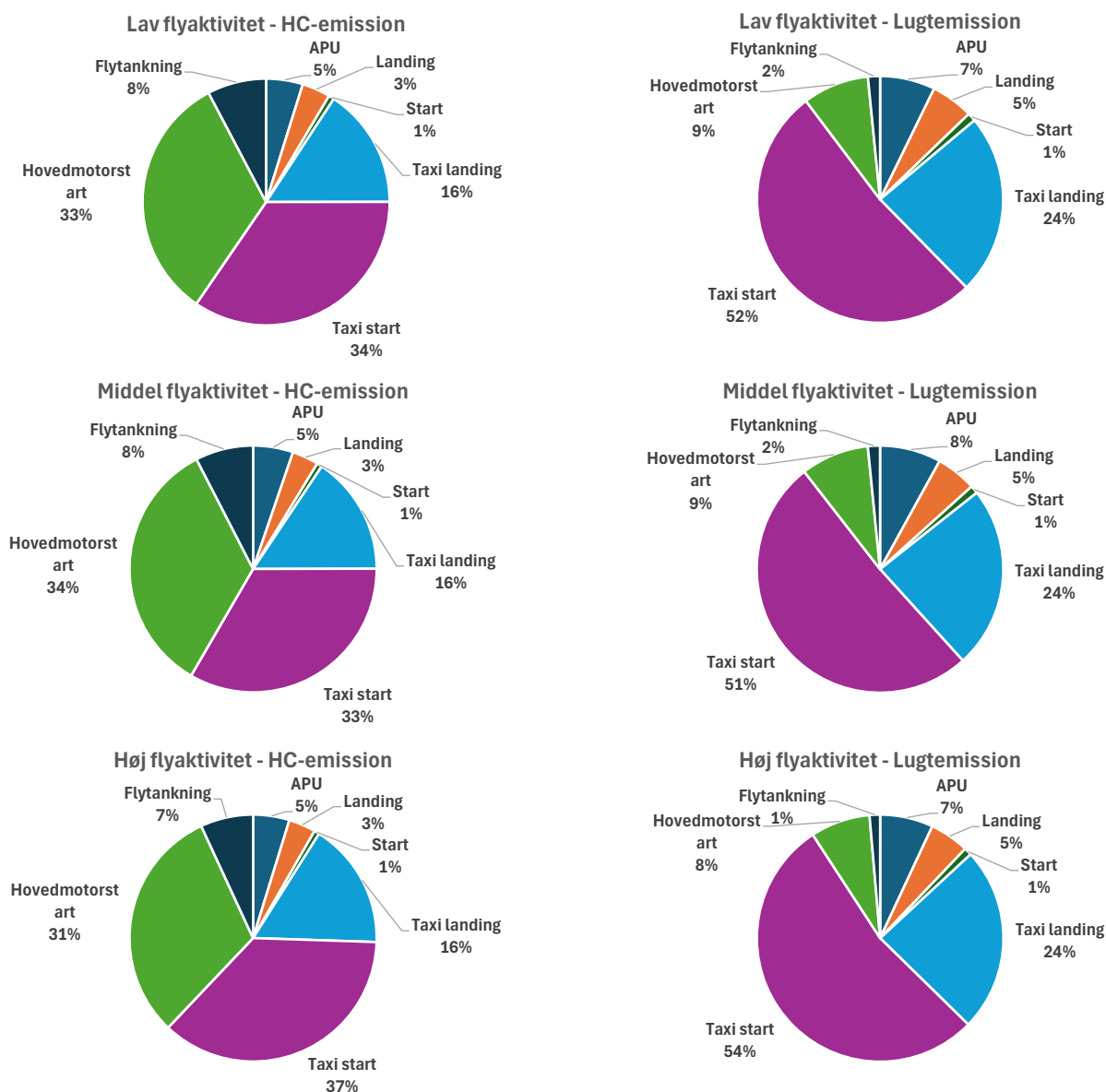
For lugtemissionerne er følgende procentandele for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning beregnet i projektet for de udvalgte dage med lav, middel og høj flyaktivitet (tabel 3.4 og figur 3.10).

For lav flyaktivitet er de beregnede lugtemissionsandele for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning hhv. 82 %, 7 %, 9 % og 2 %. For middel flyaktivitet er de beregnede lugtemissionsandele for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning hhv. 81 %, 8 %, 9 % og 2 %. For høj flyaktivitet er de beregnede lugtemissionsandele for hovedmotorer, APU, hovedmotorstart og tankning hhv. 84 %, 7 %, 8 % og 1 %.

Figur 3.10 viser også hovedmotorernes HC- og lugtemissioner fordelt på delkilderne landing, start samt taxi før start og taxi efter landing. De samlede emissionsbidrag for flyenes taxikørsel før start indeholder emissionsbidrag for flyenes taxikørsel væk fra standpladserne, og for fly der holder i kø før start. De samlede emissionsbidrag for flyenes taxikørsel efter landing indeholder emissionsbidrag for flyenes taxikørsel efter nedbremsning på landingsbanen og den efterfølgende taxikørsel hen til standpladserne.

Samlet set er lugtbidraget for flyenes taxikørsel før start meget store, og udgør hhv. 52 %, 51 % og 54 % af lufthavnens samlede lugtemission for de udvalgte dage med lav, middel og høj flyaktivitet. Taxi efter landing er den næststørste delkilde til lugtemissioner i lufthavnen, og udgør 24 % af den samlede lugtemission ved både lav, middel og høj flyaktivitet. Hovedmotorernes lugtemissionsbidrag for start og landing er små og udgør hhv. 1 % og 5 % ved både lav, middel og høj flyaktivitet.

Set i forhold til deres HC-emissionsbidrag er lugtemissionsbidragene ret små for hovedmotorstart og tankning af fly, fordi den HC-relaterede lugtemissionsfaktor for disse lugtkilder, som før nævnt, er meget mindre end den HC-relaterede lugtemissionsfaktor, der bruges for både hovedmotorer og APU.



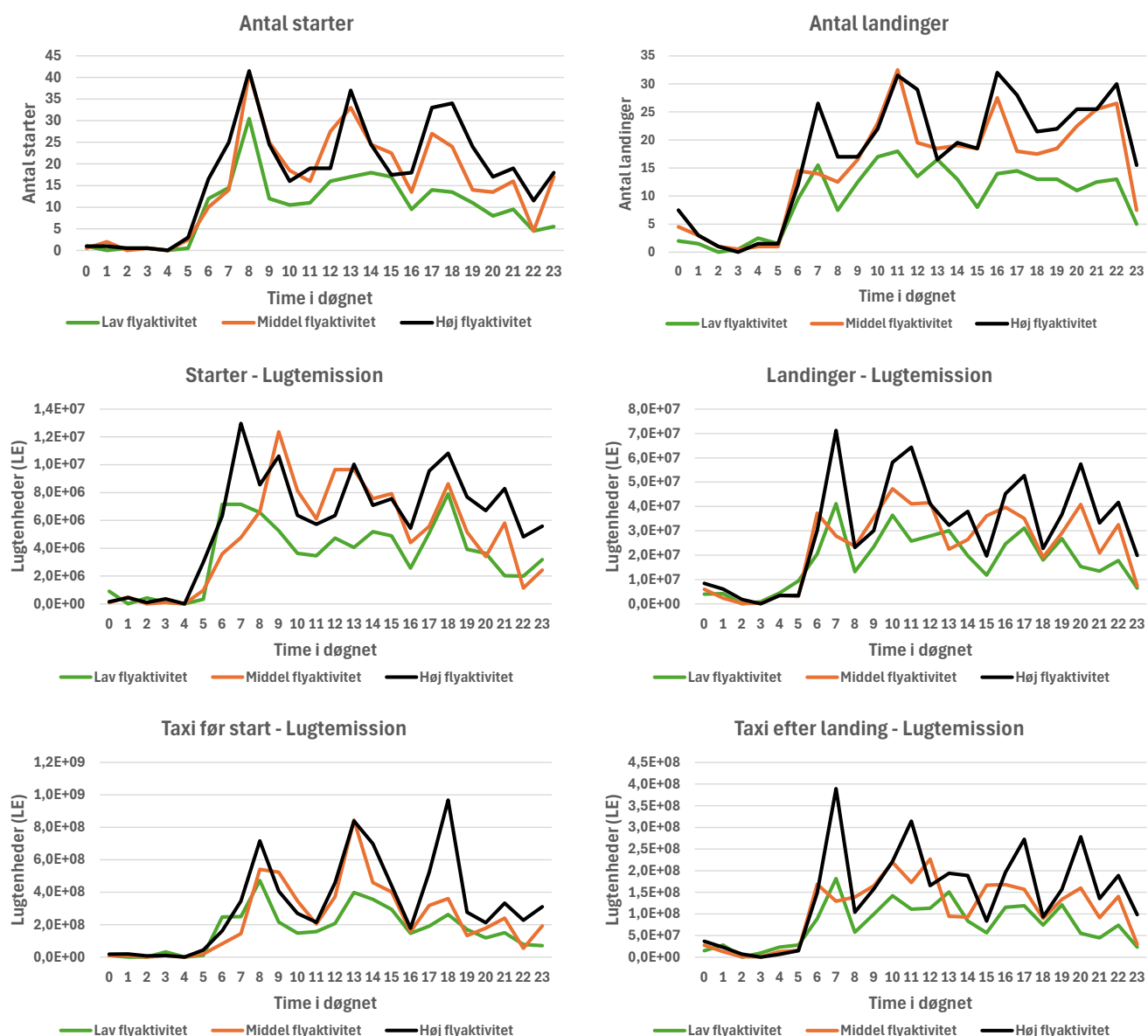
Figur 3.10. Beregnede gennemsnitlige procentandele for hovedmotorer (start, landing, taxi før start, taxi efter landing), APU, hovedmotorstart og tankning for de udvalgte dage i projektet med hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

3.5.1 Hovedmotorer

Figur 3.11 viser den beregnede gennemsnitlige lugtemission for hovedmotorer opdelt i starter, landinger, taxi før start og taxi efter landing fordelt over døgnets timer for de udvalgte dage i projektet med hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

De beregnede lugtemissioner for hovedmotorer er proportionale med de beregnede HC-emissioner for hovedmotorer. HC-emissionen afhænger af de anvendte flytyper mht. flystørrelse, flyenes brændstofrelaterede HC-emissionsfaktorer og det beregnede brændstofforbrug.

Der vil for nogle flyoperationer være en vis tidsforskydning indenfor timeintervallerne med hensyn til, hvornår 1) taxikørsel og eventuel køtid relateret til flyafgangen finder sted, og 2) tidsrummet hvor start og opstigning foregår for den efterfølgende flystart på startbanen, og 3) tidsrummet hvor nedstigning og nedbremsning for en flylanding foregår, og hvornår den efterfølgende taxikørsel relateret til flyankomsten finder sted.



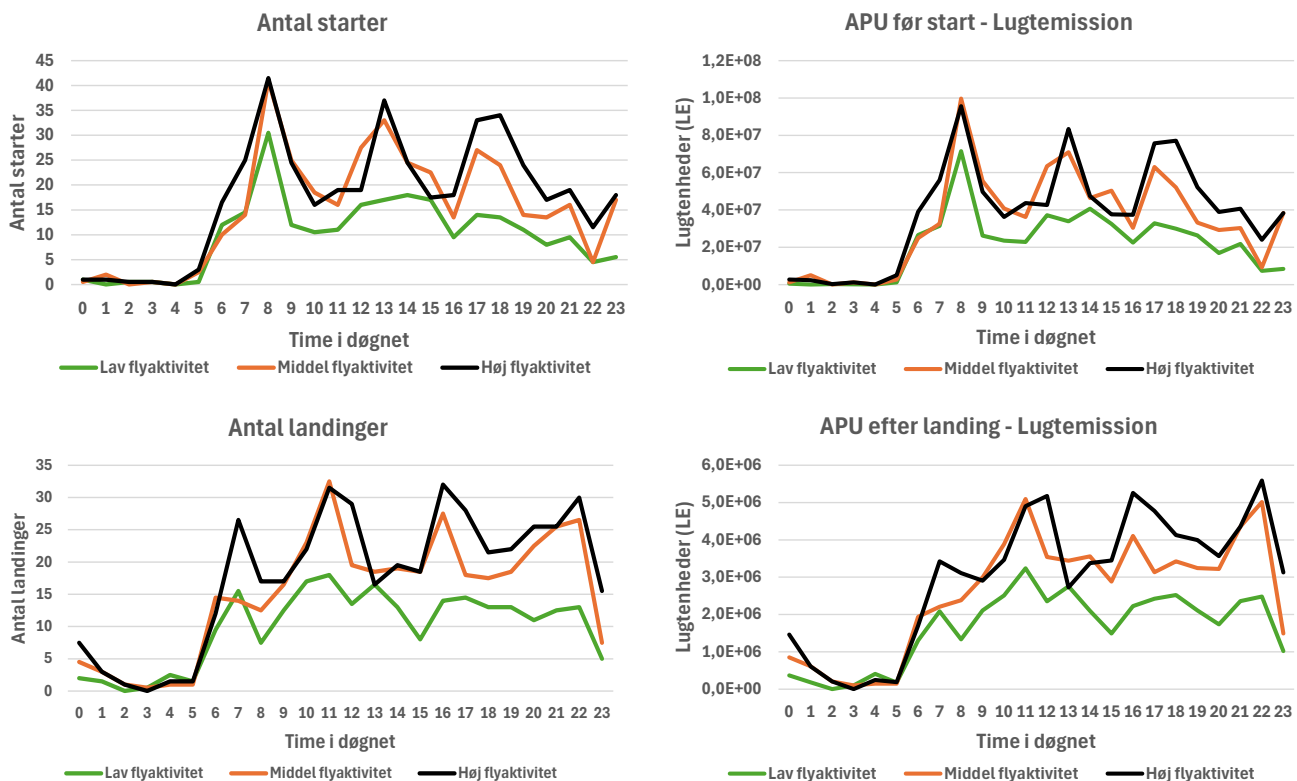
Figur 3.11. Beregnet gennemsnitlig lugtemission for hovedmotorer opdelt i starter, landinger, taxi før start og taxi efter landing fordelt over døgnets timer for de udvalgte dage i projektet med hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

På grund af forskelle i de specifikke HC-emissionsniveauer for flyenes hovedmotorer og eventuelle tidsforskydninger i grupperingen af starter og lugtemission indenfor timeintervaller er der generelt ret stor forskel mellem udviklingen af lugtemissionen og udviklingen i antallet af starter hen over døgnets timeintervaller for hovedmotorer under start.

Når der tages forbehold for forskellene i de specifikke HC-emissionsniveauer for flyenes hovedmotorer og eventuelle tidsforskydninger i grupperingen af landinger og lugtemission indenfor timeintervaller, følger lugtemissionen for hovedmotorer efter landing, med visse udsving, udviklingen i antallet af landinger hen over døgnets timer. Lidt markant beregnes i tidsrummet 7-8 relativt store lugtemissioner for de udvalgte dage med høj flyaktivitet, set i forhold til antallet af landinger i samme timeinterval. Der beregnes relativt små lugtemissioner i tidsrummene 16-18 og 22-23 for de udvalgte dage med høj flyaktivitet, og i tidsrummene 11-12, 16-17 og 21-23 for de udvalgte dage med middel flyaktivitet, set i forhold til antallet af landinger i samme timeintervaller.

3.5.2 APU

Figur 3.12 viser den beregnede gennemsnitlige lugtemission for brugen af APU før start og efter landing fordelt over døgnets timer for de udvalgte dage i projektet med hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.



Figur 3.12. Beregnet gennemsnitlig lugtemission for brugen af APU før start og efter landing fordelt over døgnets timer for de udvalgte dage i projektet med hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

De beregnede lugtemissioner for APU er proportionale med de beregnede HC-emissioner for APU. HC-emissionen afhænger af de anvendte flytyper mht. flystørrelse og alder, hvorudfra de brændstofrelaterede HC-emissionsfaktorer fastlægges og det beregnede brændstofforbrug for APU.

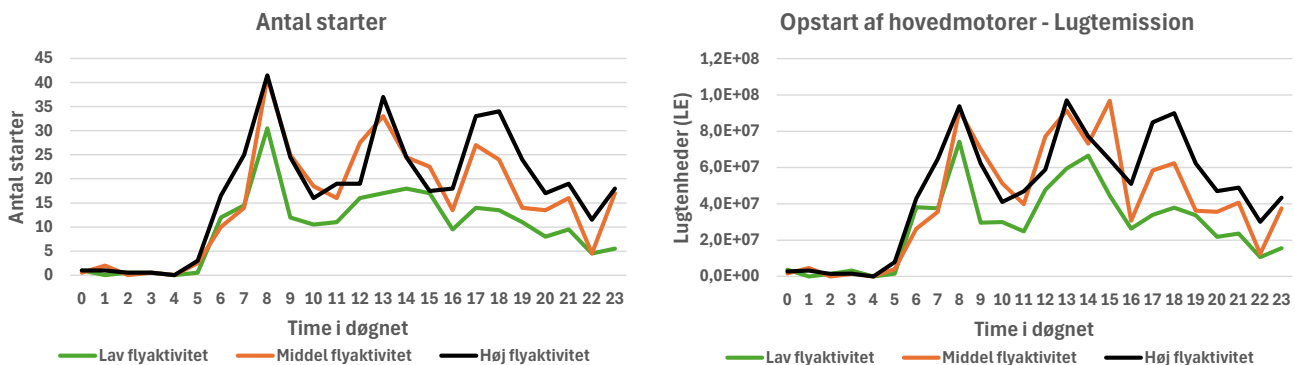
Der vil for nogle flyoperationer være en vis tidsforskydning indenfor timeintervallerne med hensyn til 1) tidspunktet hvor APU-aktiviteten relateret til flyafgangen finder sted og hvornår flystarten begynder på startbanen, og 2) tidspunktet hvor landingen sker på landingsbanen og hvornår den efterfølgende APU-aktivitet relateret til flyankomsten finder sted.

Med forbehold for disse afhængigheder af specifikke HC-emissionsniveauer og eventuelle tidsforskydninger i grupperingen af starter/landinger og lugtemission indenfor timeintervaller, følger lugtemissionen for APU før start meget fint udviklingen i antallet af starter hen over døgnets timeintervaller.

Også med forbehold for specifikke HC-emissionsniveauer og tidsmæssig gruppering af starter og lugtemission følger lugtemissionen for APU efter landing, med visse udsving, udviklingen i antallet af landinger hen over døgnets timer. Lidt markant beregnes mellem 22 og 23 relativt store lugtemissioner for de udvalgte dage med middel og høj flyaktivitet set i forhold til antallet af landinger i samme timeinterval. I tidsrummet 7-8 beregnes relativt små lugtemissioner for de udvalgte dage med middel og høj flyaktivitet set i forhold til antallet af landinger i samme timeintervaller.

3.5.3 Hovedmotorstart

Figur 3.13 viser den beregnede gennemsnitlige lugtemission for opstart af hovedmotorer fordelt over døgnetimer for de udvalgte dage i projektet med hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.



Figur 3.13. Beregnet gennemsnitlig lugtemission for opstart af hovedmotorer fordelt over døgnetimer for de udvalgte dage i projektet med hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

Lugtemissionerne for hovedmotorstart indeholder to lugtbidrag. Der er et lugtbidrag fra en vis mængde flybrændstof afhængig af hovedmotorstørrelse, der skylder ud af motoren i den første fase af hovedmotorstarten, før der sker den første tænding af flybrændstoffet. Derudover er der et lugtbidrag fra hovedmotorernes HC-emission ved tomgangskørsel umiddelbart derefter, i et tidsrum på 35 og 140 sekunder for hhv. 2-motorer og 4-motorer jetfly, før flyet fortsætter ud mod startbanen.

Den HC-relaterede lugtemissionsfaktor for uforbrændt flybrændstof er lille (7.800 LE/g HC) set i forhold til lugtemissionsfaktoren ved forbrænding af flybrændstof (57.000 LE/g HC), og vægtet set er den samlede lugtemissionsfaktoren for hovedmotorstart lav (ca. 10.000 LE/g HC).

Der vil for nogle flyoperationer være en vis tidsforskydning indenfor timeintervallerne set i forhold til tidspunktet, hvor hovedmotorstarten finder sted, og den efterfølgende flystart begynder på startbanen.

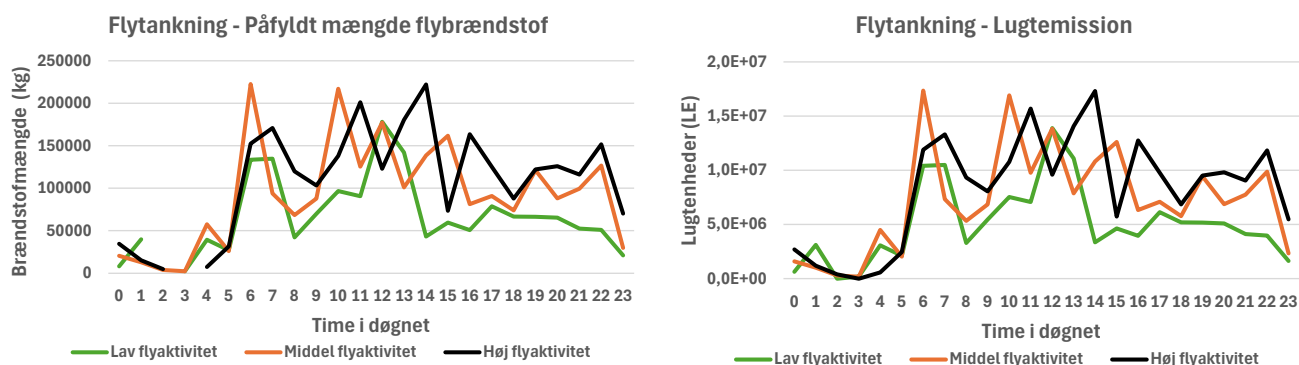
Med forbehold for disse afhængigheder af specifikke HC-emissionsniveauer og eventuelle tidsforskydninger i grupperingen af starter og lugtemission indenfor timeintervaller følger lugtemissionen for hovedmotorstarter pænt udviklingen i antallet af starter hen over døgnetimeintervaller.

Lidt markant beregnes i tidsrummene 14-15 og 14-16 relativt store lugtemissioner for de udvalgte dage med hhv. lav og middel flyaktivitet set i forhold til antallet af starter i samme timeinterval.

I tidsrummet 8-9 beregnes relativt mindre lugtemissioner for alle tre flyaktivitetsniveauer set i forhold til antallet af starter i samme tidsrum.

3.5.4 Tankning af fly

Figur 3.14 viser den beregnede gennemsnitlige lugtemission for tankning af fly fordelt over døgnetimer for de udvalgte dage i projektet med hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.



Figur 3.14. Beregnet gennemsnitlig lugtemission for tankning af fly fordelt over døgnet for de udvalgte dage i projektet med hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

Lugtemissionerne for tankning af fly kommer fra brændstofdampene, der fortrænges fra flyenes brændstoftanke, efterhånden som brændstof påfyldes. Den HC-relaterede lugtemissionsfaktor for uforbrændt flybrændstof er lille (7.800 LE/g HC) set i forhold til lugtemissionsfaktoren ved forbrænding af flybrændstof (57.000 LE/g HC).

Som det ses af figur 3.14, er lugtemissionerne for flytankning proportionale med den påfyldte brændstofmængde.

Figureerne 3.15-3.20 viser den geografiske emissionsfordeling for lugtemissionen relateret til flyaktiviteter for et døgn i lufthavnen.

For baneretning 22, er langt de fleste af starterne på bane 22R og alle landingerne er på bane 22L. For baneretning 04 er alle starterne på bane 04R og langt de fleste af landingerne er på bane 04L.

Bemærk at lugtemissionsskalaerne på figurene ikke er lineære, men derimod stiger kraftigt for hvert trin. Denne skala-inddeling er valgt for også at kunne vise lugtemissionsforskelle mellem celler, hvor lugtemissionerne er lave.

Figurene 3.15-3.17 afbilder lugtemissionerne for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet ved udelukkende anvendelse af baneretning 22. Når de tre figurer sammenlignes, ses det, at lugtemissionen trinvist bliver kraftigere i takt med at flyaktiviteten forøges.

På alle tre figurer, ses en relativ kraftig lugtemission på rullevejen fra terminalområdet frem mod startpunktet for starterne på 22R, og en maksimal lugtemission på selve startpunktet, hvor lugten relateret til flykø er placeret i beregningerne. Herefter ses en noget svagere lugtemission fra flyene ud ad startbanen under selve flystarten.

For landingerne på 22L, ses tydeligt, at et vist antal fly bruger afkørslen relativt kort fra landingspunktet (de mindste fly), og at de større fly bruger afkørslerne længere væk fra landingspunktet. Der ses en gradvist kraftigere lugtemission på rullevejen, efterhånden som trafikken forøges frem mod terminalområdet.

Ved terminalområdet, ses lugtemissionen tydeligt på visse af opstartsmærkerne for hovedmotorerne, hvor der er lugtbidrag både fra APU og hovedmotorstart. På figurene ses også svage aftegninger af lugtemissionen fra flytankning ved standpladserne, hvor flyene tankes. Lugtemissionen på rullevejene

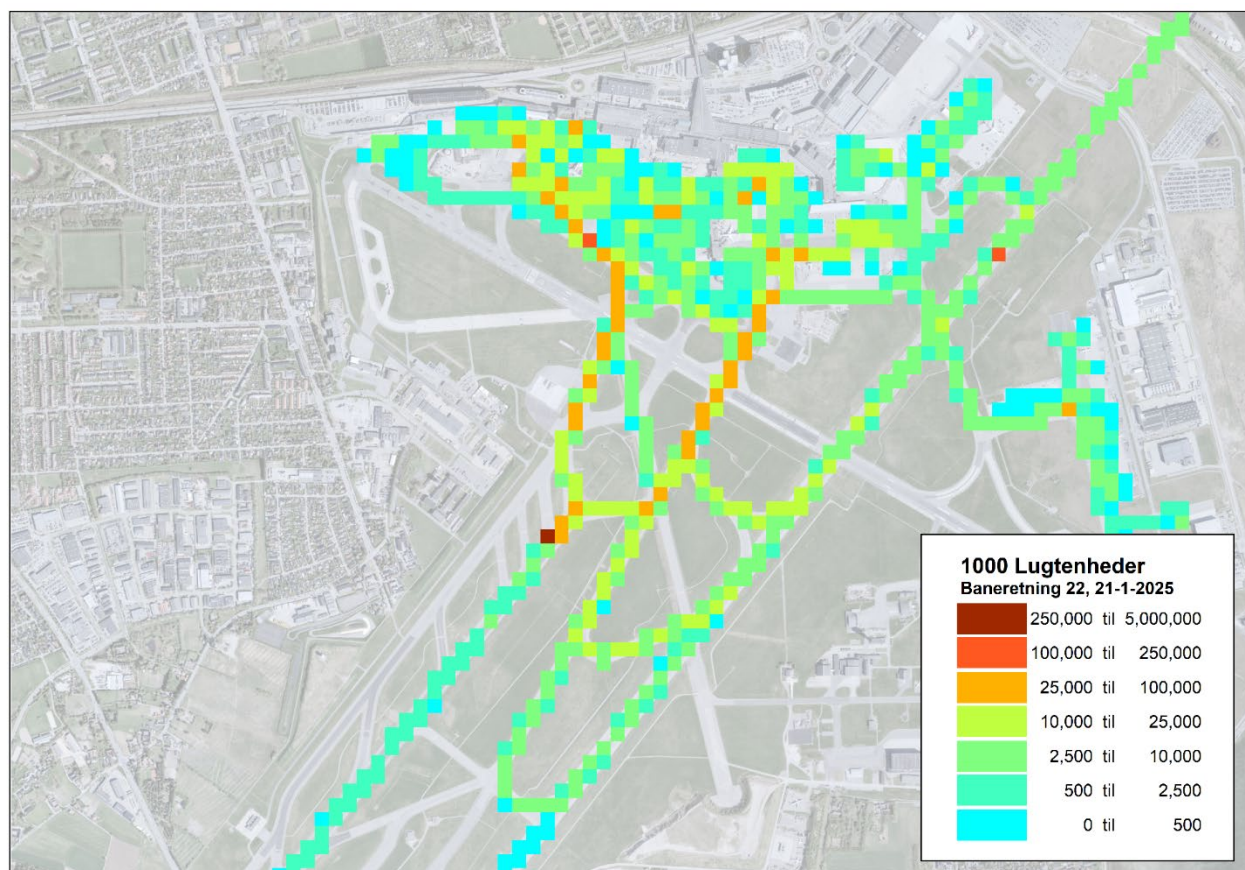
ses også i varierende niveauer på rullevejene tæt på og indenfor terminalområdet.

Figurerne 3.18-3.20 afbilder lugtemissionerne for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet ved udelukkende anvendelse af baneretning 04. Når de tre figurer sammenlignes, ses det at lugtemissionen trinvist bliver kraftigere i takt med at flyaktiviteten forøges.

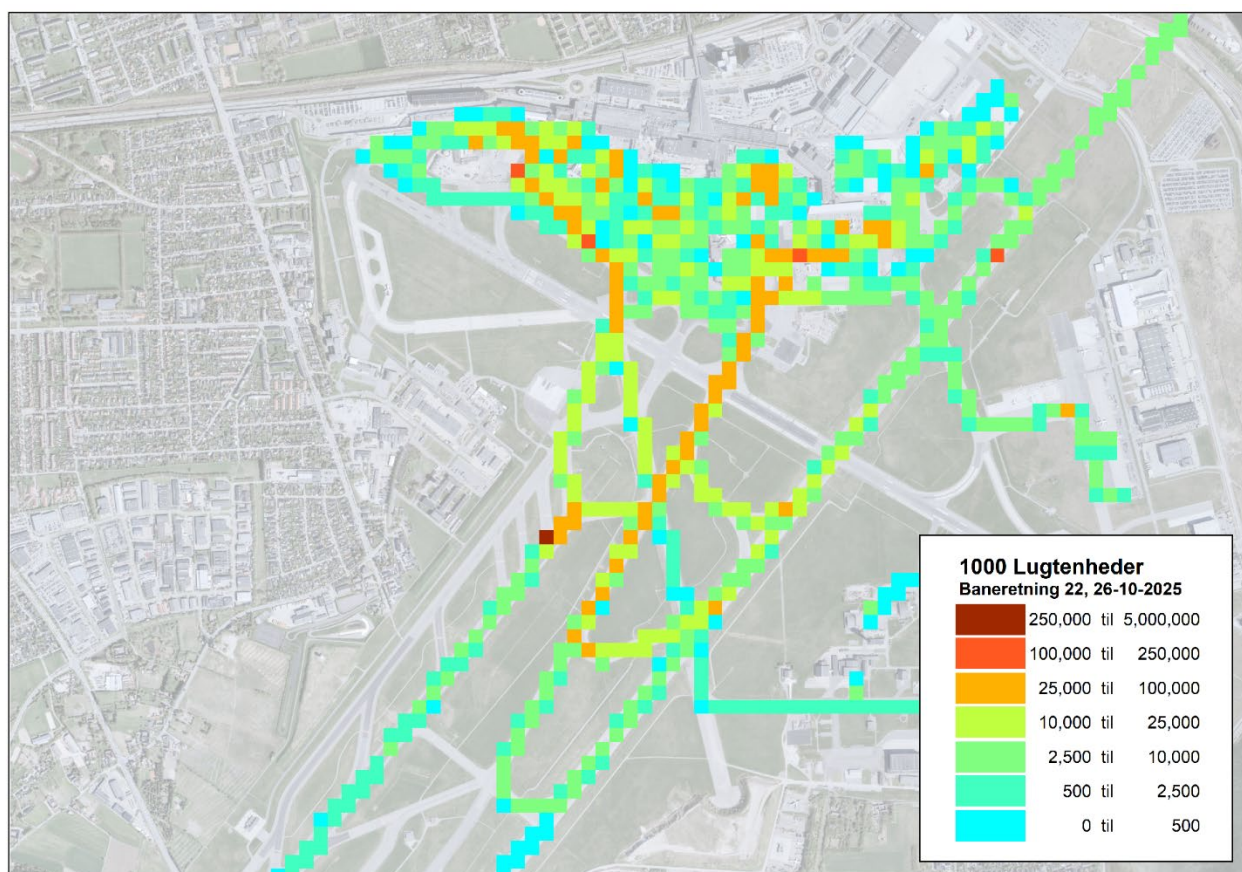
På alle tre figurer, ses en relativ kraftig lugtemission på rullevejen fra terminalområdet frem mod startpunktet for starterne på 04L, og en maksimal lugtemission på selve startpunktet, hvor lugten relateret til flykø er placeret i beregningerne. Herefter ses en noget svagere lugtemission fra flyene ud ad startbanen under selve flystarten.

For landingerne på 04R, ses en tydelig lugtemission for flyene på landingsbanen og ved taxikørslen ad rullevejene frem mod terminalområdet.

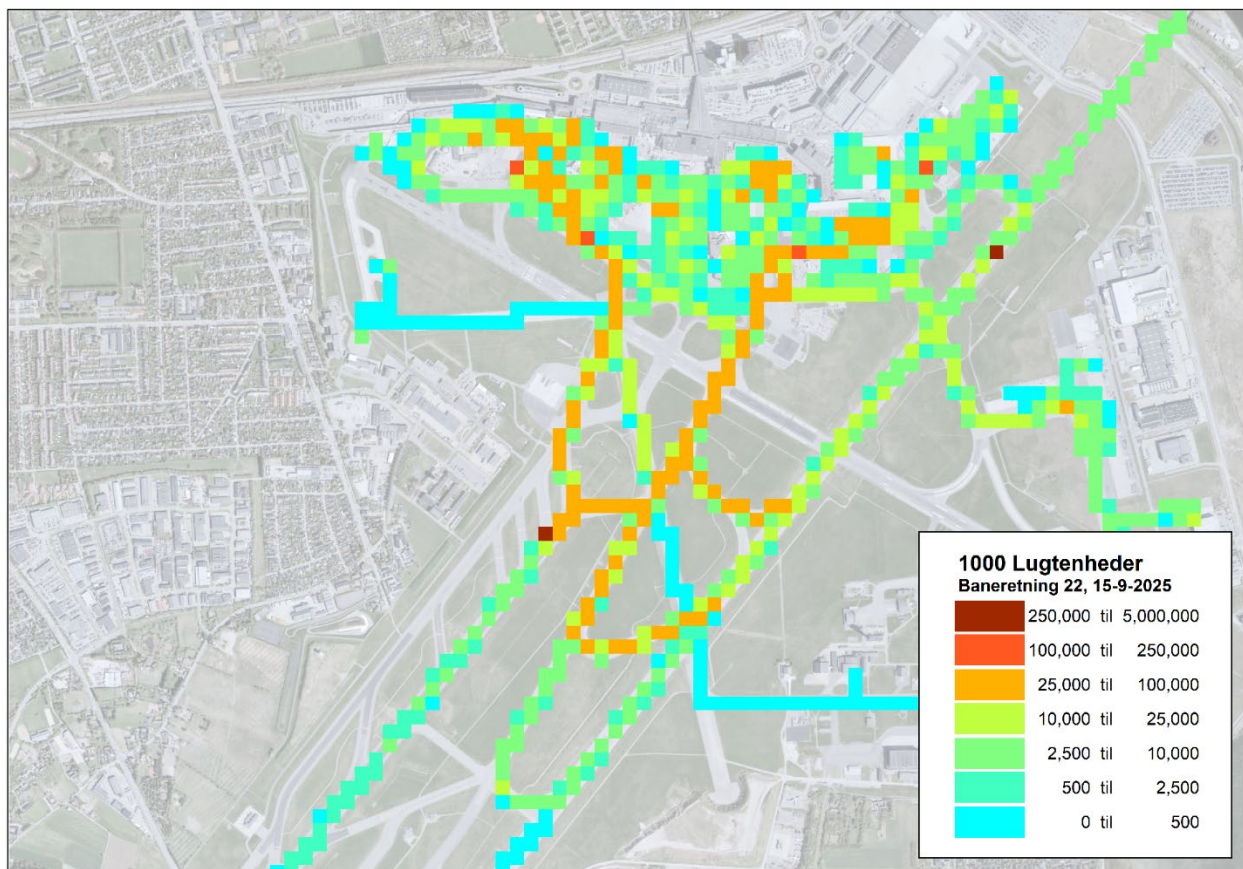
Ved terminalområdet ses lugtemissionen tydeligt på visse af opstartsmærkerne for hovedmotorerne, hvor der er lugtbidrag både fra APU og hovedmotorstart. På figurerne ses også svage aftegninger af lugtemissionen fra flytanking ved standpladserne, hvor flyene tankes. Lugtemissionen på rullevejene ses også i varierende niveauer på rullevejene tæt på og indenfor terminalområdet.



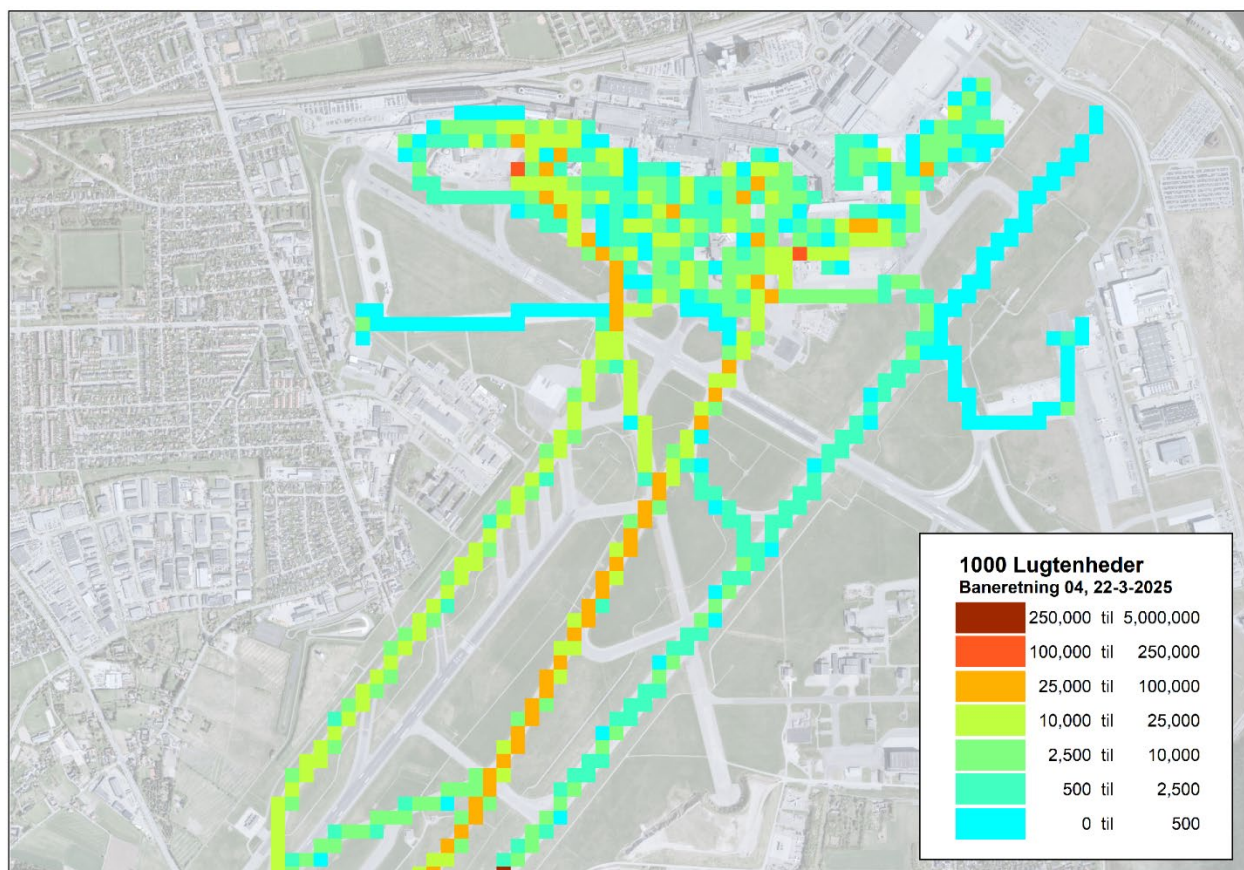
Figur 3.15. Totale lugtemissioner pr. 50 m x 50 m for et døgn med lav flyaktivitet og udelukkende anvendelse af bane 22.



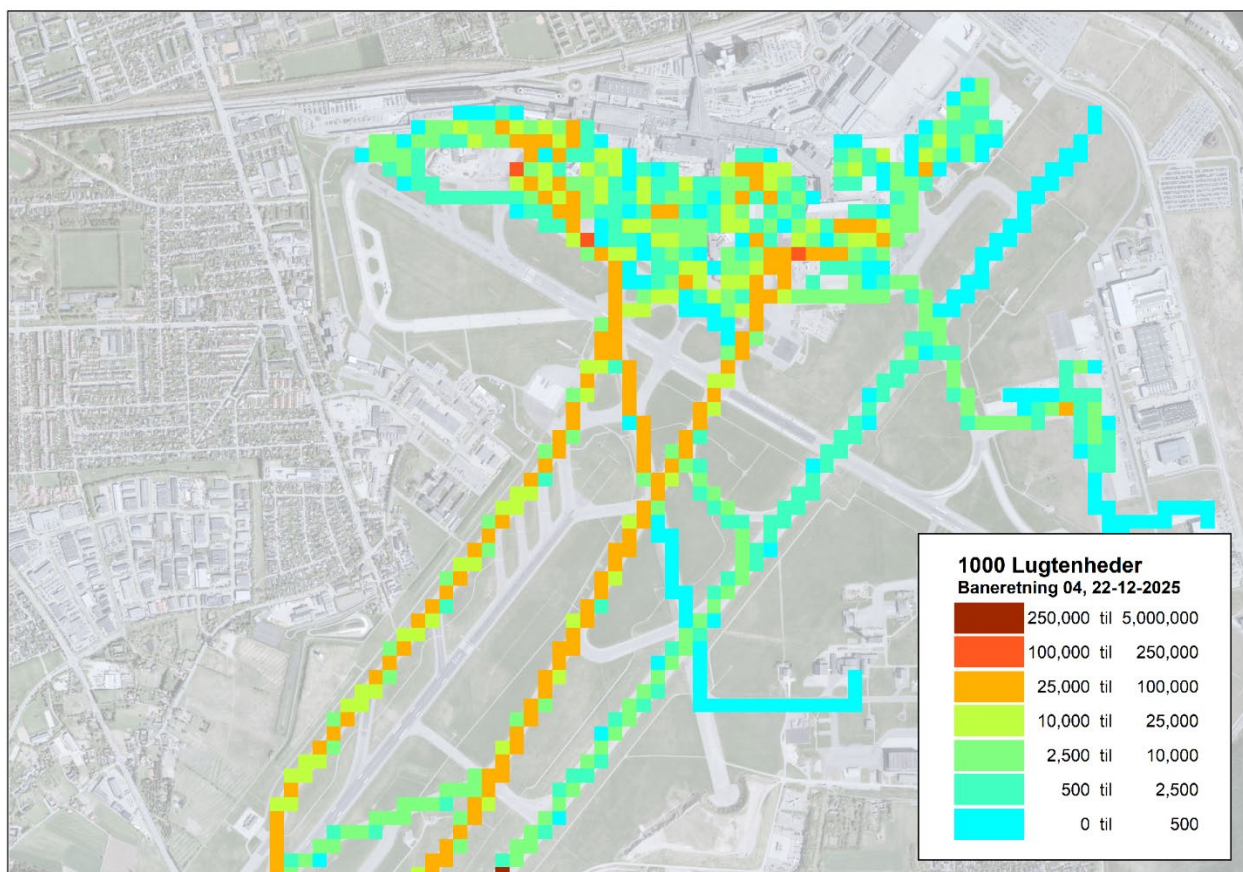
Figur 3.16. Totale lugtemissioner pr. 50 m x 50 m for et døgn med middel flyaktivitet og udelukkende anvendelse af bane 22.



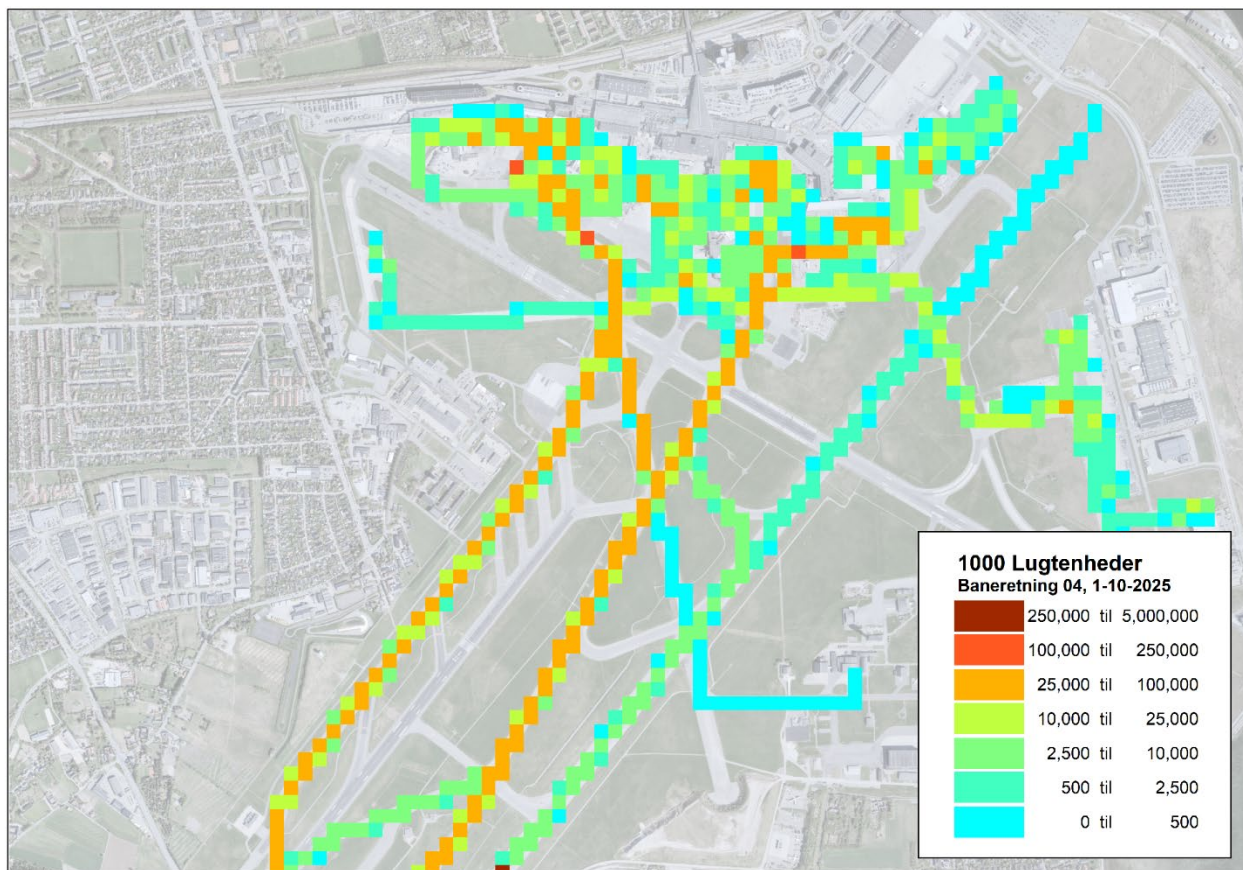
Figur 3.17. Totale lugtemissioner pr. 50 m x 50 m for et døgn med høj flyaktivitet og udelukkende anvendelse af bane 22.



Figur 3.18. Totale lugtemissioner pr. 50 m x 50 m for et døgn med lav flyaktivitet og udelukkende anvendelse af bane 04.



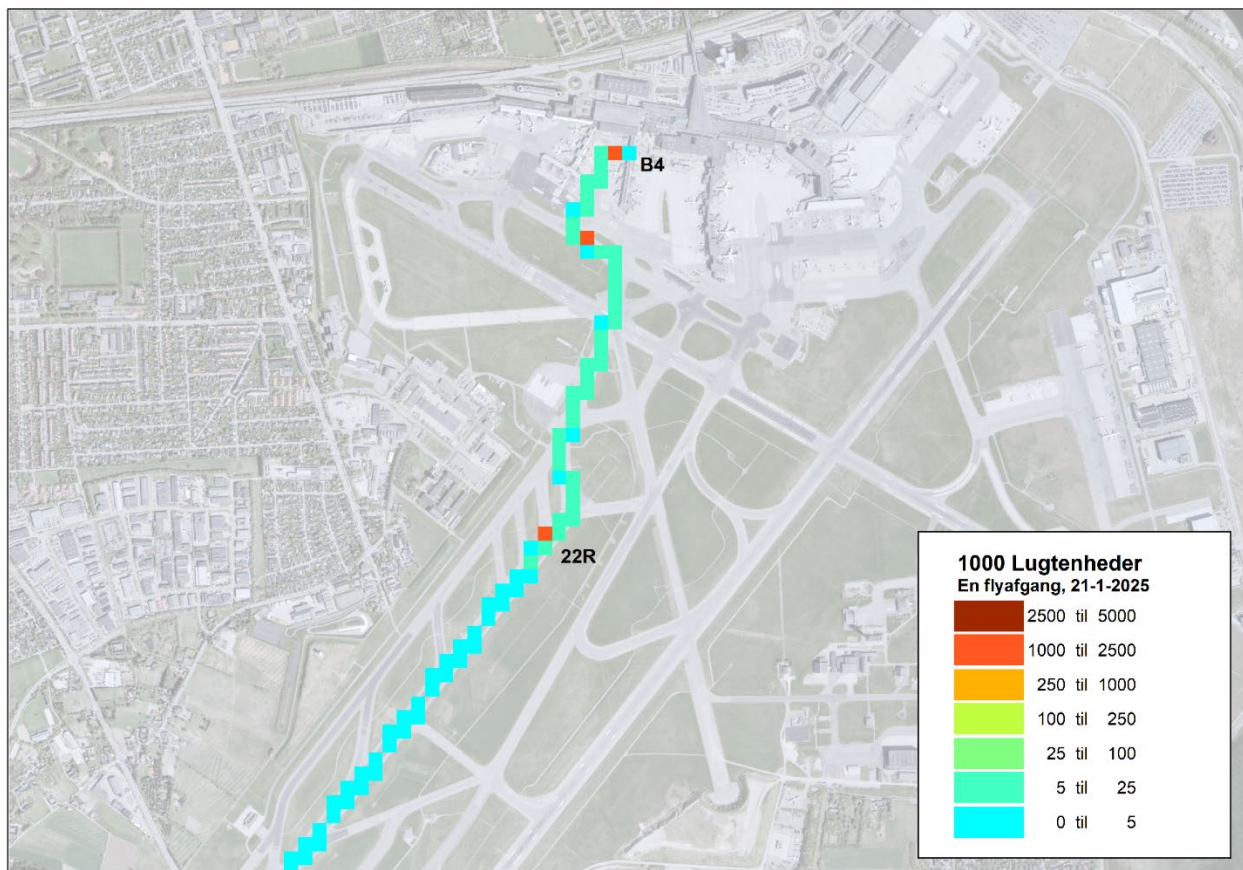
Figur 3.19. Totale lugtemissioner pr. 50 m x 50 m for et døgn med middel flyaktivitet og udelukkende anvendelse af bane 04.



Figur 3.20. Totale lugtemissioner pr. 50 m x 50 m for et døgn med høj flyaktivitet og udelukkende anvendelse af bane 04.

Figur 3.21 viser den beregnede lugtemission fra en flyafgang med et fly, der benytter standplads B4 og startbane 22R.

Flyet bruger APU ved standpladsen (B4) før, det trækkes tilbage og frem mod opstartsmærket for hovedmotoren, hvorefter flyet taxier ud til startpunktet på bane 22R. Flyet holder i kø ved startpunktet, hvorefter flyet påbegynder sin start og bevæger sig ud ad bane 22R. Lugtemissionerne er mest tydelige ved standpladsen på opstartsmærket for hovedmotoren og ved startpunktet for flystarten på bane 22R.



Figur 3.21. Totale lugtemissioner pr. 50 m x 50 m for en enkelt flyafgang med start på bane 22R.

3.6 Usikkerhed på lugtemissioner

Der er i projektet udført en litteratursøgning efter lugtemissionsdata, der kunne bruges som inputdata til lugtberegningerne for lufthavnen (se afsnit 2.2). Litteratursøgningen gav dog ingen oplysninger om lugtmålinger udført på flymotorer, udover de lugtmålinger der blev udført i det tidligere lugtprojekt i Københavns Lufthavn (Fenger et al., 2006). Derfor er det besluttet at bruge lugtemissionsfaktoren afledt af disse lugtmålinger som input til lugtberegningerne i dette projekt.

I målestudiet bag den tidligere lugtundersøgelse, er det fundet, at lugten fra flymotorerne skyldes emissionerne af HC. I målestudiet blev prøver af udstødningsgas opsamlet fra en flymotor, og efterfølgende blev lugtpanelister i et lugtpanel udsat for stærkt fortyndede lugtprøver af den opsamlede udstødningsgas. Lugtanalysen blev udført i henhold til Miljøstyrelsens vejledning nr. 4, 1985, om "Begrænsning af lugtgener fra virksomheder (Miljøstyrelsen, 1985).

I lugtanalysen, blev HC-koncentrationen i lugtprøverne noteret ved den første markering af lugt fra 50 % af lugtpanelisterne (lugttærskelværdien), efterhånden som koncentrationen af den stærkt fortyndede lugtprøve gradvist blev forstærket. Ud fra den rent faktiske HC-koncentration i udstødningsgassen, fortyndingsforholdet ved prøveopsamlingen, og HC-koncentrationen for lugttærskelværdien (1 lugtenhed), der blev bestemt af lugtpanelet, var det muligt at beregne en lugtfaktor på 57 lugtenheder pr. mg HC (57 LE/mg HC) i udstødningsgassen.

Usikkerheden på lugtmålingerne og den afledte lugtemissionsfaktor er i det tidligere studie bestemt til at være en faktor 1,6 indenfor et 95 % konfidensinterval, hvilket betyder, at den nedre intervalgrænse for lugtmålingen er en faktor 1,6 mindre end den gennemsnitlige lugtmåling, og den øvre intervalgrænse for lugtmålingen er en faktor 1,6 større end den gennemsnitlige lugtmåling (Oxbøl et al., 2003). Med 95 % sandsynlighed vil den sande værdi for den bestemte lugtfaktor altså ligge indenfor intervallet 36-91 LE/mg HC.

HC er en samlet gruppe af mange forskellige stoffer med forskellig kemisk sammensætning, der kan have forskellig lugtintensitet. Men det er ikke i praksis muligt at skille disse delkomponenter for HC ud på delbidrag af lugt i en konkret lugtmåling.

Havde det omvendt været muligt at bestemme lugtfaktorer for delkomponenter for HC i flyudstødningen ud fra emissionsmålinger og lugtpanelforsøg, ville en præcis lugtoppgørelse på flymotorniveau alligevel ikke kunne beregnes, da der ikke findes data for motorspecifikke HC-emissioner fordelt på HC-delkomponenter for individuelle flymotorer. Det ville altså ikke være muligt på dette niveau at kombinere lugtfaktorer (LE pr. mg HC-delkomponent) med emissioner pr. HC-delkomponent for de enkelte flymotorer og derudfra beregne lugten fra de enkelte flymotorer.

I dette studie bruges lugtemissionsfaktorer fra den tidligere lugtundersøgelse, hvor lugten blev bestemt for den mest anvendte motortype i lufthavnen i 2003, og de dertil knyttede HC-emissioner, der i sagens natur har en underliggende fordeling på HC-delkomponenter. For dagens situation vil det være en potentiel kilde til usikkerhed i de beregnede lugtemissioner, hvis sammensætningen af HC-emissionen på HC-delkomponenter har ændret sig for det brede udvalg af motorer i lufthavnen i 2025 set i forhold til flymotoren, der blev testet i 2003 i den tidligere lugtundersøgelse. Det er desværre ikke muligt at bedømme denne usikkerhed og dens mulige indvirkning på lugtemissionsresultaterne.

Denne usikkerhed kan nedbringes ved at lave HC-emissionsmålinger i flyudstødningen for et udvalg af de mest anvendte flymotorer i dag, og bestemme nye lugtfaktorer vha. analyser af de opsamlede emissionsprøver og efterfølgende lugtpanelforsøg.

3.7 Sammenligning med tidligere lugtoppgørelse

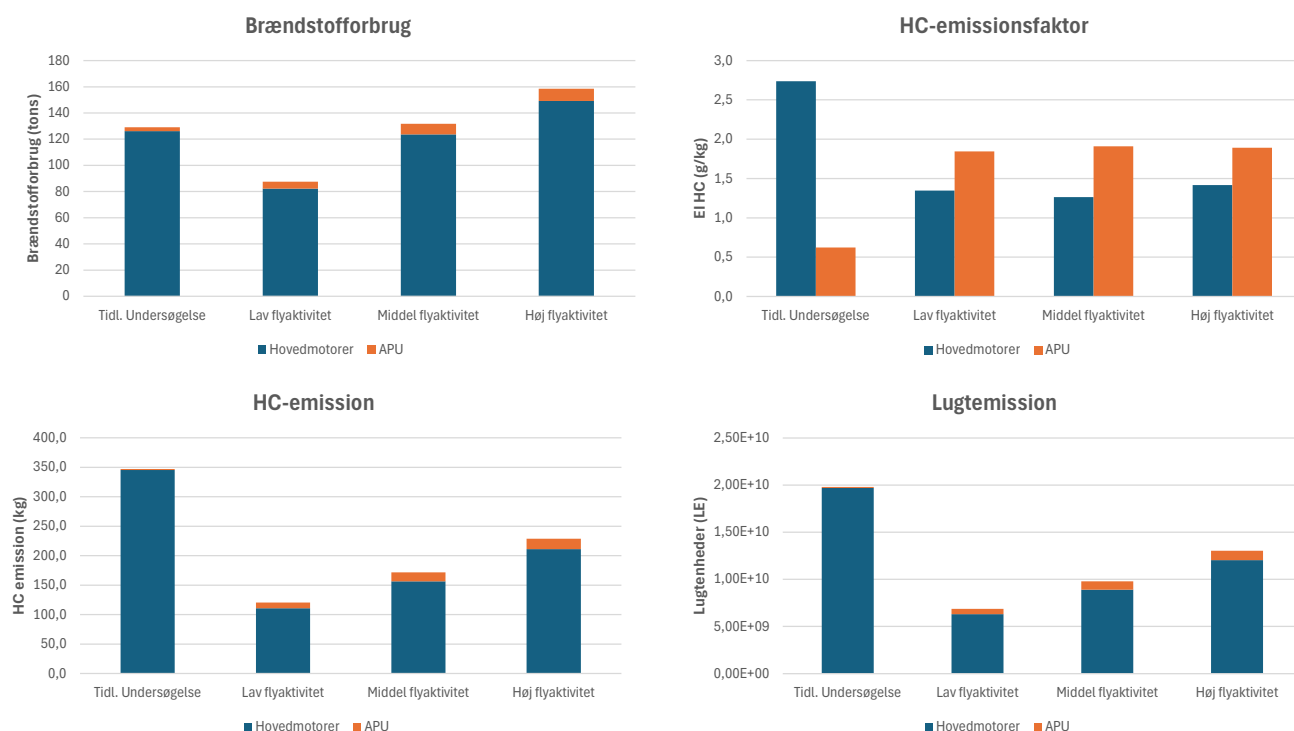
I den tidligere lugtundersøgelse for Københavns Lufthavn, blev lugtemissionerne kun beregnet for hovedmotorer og APU, fordi det på daværende tidspunkt pga. manglende emissionsdata ikke var muligt at beregne lugtemissionerne for opstart af hovedmotorer og flytankning.

Tabel 3.6 viser de beregnede brændstofforbrug, HC-emissionsfaktorer og HC- og lugtemissioner for hovedmotorer og APU for et gennemsnitlig døgn i den tidligere lugtundersøgelse, og de gennemsnitlige døgn i den nuværende undersøgelse for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet. Tabel 3.6 viser også procentændringen i de beregnede resultater mellem den tidligere undersøgelse og den nuværende undersøgelse.

Tabel 3.6. Beregnede brændstofforbrug, HC-emissionsfaktorer og HC- og lugtemissioner for hovedmotorer og APU for et gennemsnitlig døgn i den tidligere lugtundersøgelse, og de gennemsnitlige døgn i den nuværende undersøgelse for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet. Procentændringen i de beregnede resultater mellem den tidligere undersøgelse og den nuværende undersøgelse er også vist.

		Fuel Tons	HC kg	EI HC g/kg	Lugt LE
Tidl. undersøgelse	Hovedmotorer	126.131	345,39	2,74	1,97E+10
	APU	2.965	1,85	0,62	1,05E+08
	Total	129.096	347,24	3,36	1,98E+10
Lav flyaktivitet	Hovedmotorer	82.291	110,72	1,35	6,31E+09
	APU	5.271	9,72	1,84	5,54E+08
	Total	87.562	120,44	3,19	6,86E+09
Middel flyaktivitet	Hovedmotorer	123.710	156,34	1,26	8,91E+09
	APU	8.070	15,42	1,91	8,79E+08
	Total	131.780	171,76	3,17	9,79E+09
Høj flyaktivitet	Hovedmotorer	149.213	211,24	1,42	1,20E+10
	APU	9.266	17,53	1,89	9,99E+08
	Total	158.478	228,77	3,31	1,30E+10
		Fuel	HC %-ændring ift. tidl. undersøgelse	EI HC	Lugt
Lav flyaktivitet	Hovedmotorer	-35	-68	-51	-68
	APU	78	426	196	426
	Total	-32	-65	-5	-65
Middel flyaktivitet	Hovedmotorer	-2	-55	-54	-55
	APU	172	734	206	734
	Total	2	-51	-6	-51
Høj flyaktivitet	Hovedmotorer	18	-39	-48	-39
	APU	213	849	203	849
	Total	23	-34	-2	-34

Figur 3.22 viser de beregnede brændstofforbrug, HC-emissionsfaktorer og HC- og lugtemissioner for hovedmotorer og APU for et gennemsnitlig døgn i den tidligere lugtundersøgelse, og de gennemsnitlige døgn i den nuværende undersøgelse for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.



Figur 3.22. Beregnede gennemsnitlige brændstofforbrug, HC-emissionsfaktorer og HC- og lugtemissioner for et gennemsnitlig døgn i den tidligere lugtundersøgelse, og et gennemsnitligt døgn i denne lugtundersøgelse beregnet som et gennemsnit af de to udvalgte døgn for hhv. lav, middel og høj flyaktivitet.

Set i forhold til den tidligere lugtundersøgelse for Københavns Lufthavn er de beregnede HC- og lugtemissioner for hovedmotorer og APU samlet set faldet med hhv. 65 %, 51 % og 34 % for lav, middel og høj flyaktivitet (tabel 3.6).

Set i forhold til den tidligere lugtundersøgelse for Københavns Lufthavn er de beregnede HC- og lugtemissioner for hovedmotorer faldet med hhv. 68 %, 55 % og 39 % for lav, middel og høj flyaktivitet (tabel 3.6).

Faldet i lugtemissionerne for hovedmotorer drives især af et fald i HC-emissionerne, fordi flymotorerne i dag gennemsnitligt set har lavere HC-emissioner end flymotorerne, der blev brugt i lufthavnen i den tidligere undersøgelse. Således falder de beregnede HC-emissionsfaktorer med omtrent 50 % for de tre flyaktivitetsniveauer set i forhold til den tidligere undersøgelse, mens det beregnede brændstofforbrug for lav, middel og høj flyaktivitet ændrer sig med hhv. -35 %, -2 % og +18 % set i forhold til den tidligere undersøgelse (tabel 3.6). For hovedmotorer er den anvendte lugtfaktor (57 LE/mg HC) ens i den nuværende og tidligere undersøgelse.

Set i forhold til den tidligere lugtundersøgelse for Københavns Lufthavn er de beregnede lugtemissioner for APU-motorer steget med hhv. 426 %, 734 % og 849 % for lav, middel og høj flyaktivitet.

Stigningen i lugtemissionerne for APU-motorer skyldes en kombination af meget højere HC-emissionsfaktorer og brændstofforbrug for APU-motorerne i den nuværende lugtundersøgelse set i forhold til den tidligere undersøgelse. Således stiger HC-emissionsfaktorerne for APU-motorer med omtrent 200 % for de tre flyaktivitetsniveauer set i forhold til den tidligere undersøgelse,

mens det beregnede brændstofforbrug for lav, middel og høj flyaktivitet stiger med hhv. 78 %, 172 % og 213 % set i forhold til den tidligere undersøgelse (tabel 3.6).

APU-emissionerne blev meget usikkert bestemt i den tidligere lugtundersøgelse, baseret på sparsomme måleresultater for en enkelt APU-motor. På daværende tidspunkt, var der ikke detaljerede HC-emissionsdata og brændstofforbrug tilgængelige for APU-motorer fordelt på APU-motorfaser, flystørrelser og -alder som i nærværende lugtundersøgelse.

I stedet for, blev HC-emissionen groft beregnet som produktet af den målte HC-emissionsrate for APU-motoren i g/s og driftstiderne pr. APU-motorfase (s) fordelt på flystørrelse og -alder, der også bruges i nærværende undersøgelse. Lugtemissionen for APU-motoren blev derefter beregnet som produktet af HC-emissionen og den generelle lugtfaktor på 57 LE/mg HC, der også er benyttet i den nuværende undersøgelse.

Ved sammenligningen af de beregnede lugtresultater for den tidligere lugtundersøgelse og nærværende lugtundersøgelse, skal man være opmærksom på, at sammensætningen på HC-delkomponenter for det brede udvalg af motorer, der bruges af flyene i lufthavnen i 2025 som nævnt i afsnit 3.6, kan være anderledes end HC-sammensætningen på delkomponenter for flymotoren, der blev emissionstestet i 2003. Dette vil være en kilde til usikkerhed i sammenligningen, når de beregnede lugtemissioner i de to undersøgelser stilles op mod hinanden.

4 Lugtgener

4.1 Grænseværdier for lugtgener

Lugtgener er reguleret via Miljøstyrelsens gældende lugtvejledning (Miljøstyrelsen, 1985) samt tilhørende supplementer. Lugtkoncentrationer angives i lugtenheder (LE) per kubikmeter (m^3).

I Miljøstyrelsens Lugtvejledning er det specificeret, at lugttærsklen ($1 \text{ LE} / \text{m}^3$) ikke må overskrides mere end 5 til 10 gange ($5\text{-}10 \text{ LE} / \text{m}^3$), defineret ud fra den maksimale lugtkoncentration midlet over 1 minut udenfor virksomhedens skel i boligområder. Ved industri og landbrugsområder kan dette lempes med en faktor 2 - 3. Miljøstyrelsen har udviklet en praksis for, at en virksomheds bidragsværdi for lugt (B-værdi) ikke må overskride $5 \text{ LE} / \text{m}^3$ i boligområder, og $10 \text{ LE} / \text{m}^3$ i erhvervs-, industri-, og landbrugsområder (Jørgensen et al., 2006).

Lugtvejledningen samt supplement og retningslinjer lægger op til anvendelse af en lokalskala spredningsmodel til at beregne om B-værdier for lugt overholdes (Miljøstyrelsen, 2024).

Jævnfør lugtvejledningen anvendes 1 års meteorologiske data til lugtberegninger for virksomheder. De maksimale månedlige 99%-fraktiler af de beregnede timeværdier omregnes til minutmiddelværdier, som herefter sammenholdes med B-værdier for lugt. Den maksimale månedlige 99%-fraktil angiver den højeste 99%-fraktil blandt årets 12 måneder i hvert receptorpunkt. Det betyder, at der i den mest belastede måned forekommer koncentrationer over denne værdi ca. 1 % af månedens timer svarende til syv timer for en måned med 720 timer.

4.2 Opsætning af OML-Multi

Lufthavnens bidrag til lugtgener i nærområdet er beregnet med den atmosfæriske lokalskala spredningsmodel OML-Multi (Operationel Meteorologisk Luftkvalitetsmodel), som benyttes i forbindelse med miljøgodkendelser af virksomheder og landbrug, samt i myndighedsprojekter ved beregning af luftkvalitet (Olesen et al., 2007).

OML-Multi er en Gaussisk røgfanemodel, som beregner spredningen af ikke-reaktive luftkvalitets- og lugtstoffer fra punkt- og arealkilder. OML-Multi drives af meteorologiske parametre for transport og turbulens, overfladens ruhed samt kildedata. Det geografiske område i OML-Multi er fleksibelt og defineres for den enkelte anvendelse i cirkulære eller rektangulære modelgitre, dog må gitterpunkter ikke ligge længere end 20 km fra kilderne.

4.2.1 Modeldomæne

I nærværende projekt er et rektangulært modeldomæne på $11 \text{ km} \times 16 \text{ km}$ anvendt, der dækker København Lufthavns område og hele Amager (se figur 4.1 for udstrækning af modeldomæne). Afstanden mellem beregningspunkterne i modeldomænet er 250 m. I spredningsberegningerne er der benyttet en ruhedslængde på 0,1, som er et udtryk for den turbulens, som overfladen giver anledning til.

4.2.2 Emissioner

OML-Multi anvender lugtemissioner opgjort i Kapitel 3 for dage med lav, middel og høj flyaktivitet for lufthavnen i 2025. For hvert flyaktivitetsniveau er opgørelsen lavet for to typiske dage, hvor emissionen er knyttet til anvendelse af enten bane 22 L+R, eller 04 L+R, (banernes placering kan ses på figur 4.3).

I de tre flyaktivitetsniveauer er lugtemissionen hver dag opgjort for hver time i 5 m x 5 m felter. Disse inkluderer også emissioner i højden op til 100 m i forbindelse med start og landing. Emissionerne er blevet aggregeret til 50 m x 50 m arealkilder i OML-Multi. I højden er de blevet aggregeret pr. tiende meter. Det er vindretningen for hver enkelt time, der bestemmer hvilken bane, der anvendes, og dermed hvilken emissionsdag der benyttes som grundlag for beregningerne i den pågældende time.

4.2.3 Mikrometeorologi

Meteorologiske parametre skal bruges til simuleringer med OML-Multi modellen. Disse er udtrukket fra vejrmodellen WRF (Skamarock et al., 2008) for året 2025 for et centralt punkt på Lufthavns område (X_UTM=729500, Y_UTM=6169500).

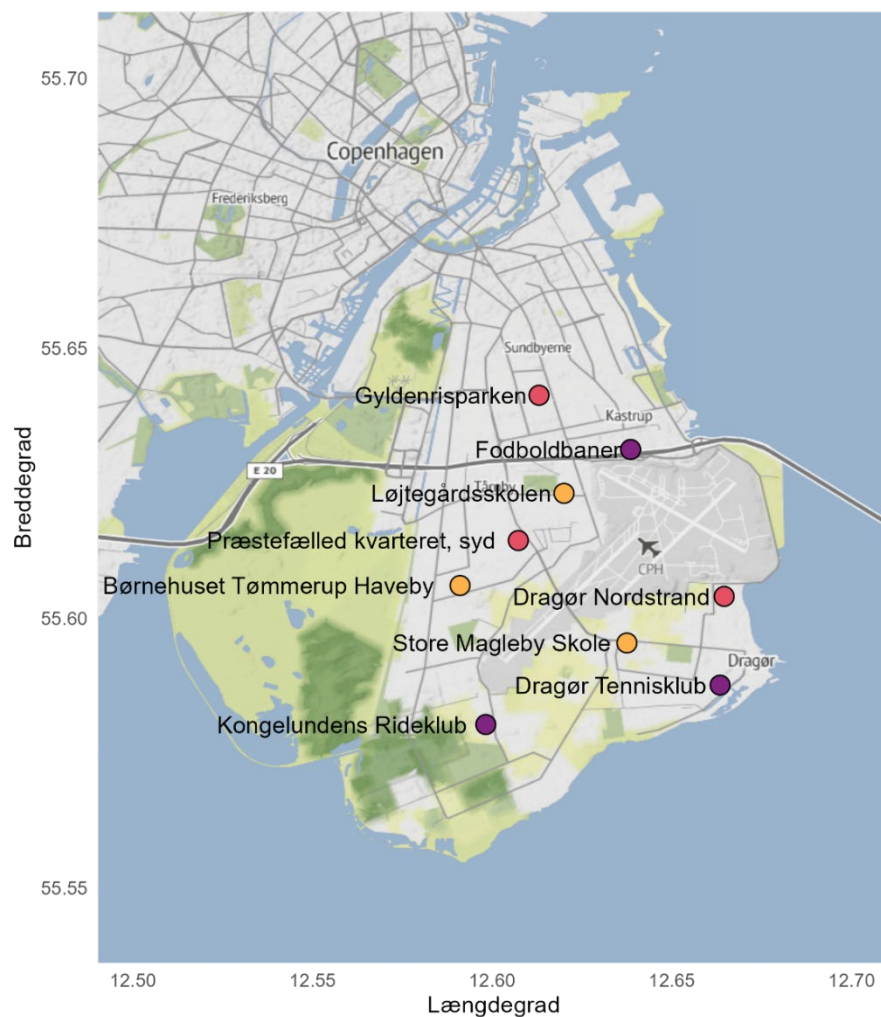
Da den rumlige placering af emissionerne i lufthavnen afhænger af valgt baneretning – enten 04 (Left/Right) eller 22 (Left/Right) - og at disse afhænger af den faktiske vindretning, er det essentielt, at OML-Multi modellen også anvender de faktiske observerede vindretninger, så emissionerne placeres korrekt. Derfor er vindretning fra målinger ved Københavns lufthavn 2025 benyttet i OML-Multi i stedet for vindretningen fra vejrmodellen WRF.

4.2.4 Modelberegninger

Modelberegningerne er foretaget for:

- Lavt flyaktivitetsniveau
- Middel flyaktivitetsniveau
- Højt flyaktivitetsniveau

I tillæg til beregningerne for det fulde domæne er der foretaget beregninger for ni udvalgte punkter, som repræsenter boligområder, skole og institutioner, samt rekreative områder umiddelbart nord, vest og syd for lufthavnen. Her undersøges den tidslige variation i lugtgenerne. Disse udvalgte punkter fremgår af figur 4.1.



Figur 4.1. Kort med det anvendte OML-Multi domæne, som dækker Københavns Lufthavn samt lufthavnens nærmeste omgivelser. Domænet dækker 11 km x 16 km med en afstand mellem beregningspunkterne i modeldomænet på 250 m. Yderligere vises ni udvalgte lokationer, hvor der vises tidsserier af beregnede lugtkoncentrationer. © [Stadia Maps](#) © [OpenMapTiles](#) © [OpenStreetMap](#) og © [Stamen Design](#) er brugt til at fremstille figuren.

En Gaussisk røgfanemodell beregner grundlæggende middelværdier for den tidsperiode, som input data for meteorologi og emissioner repræsenterer. I OML-Multi er tidsperioden en time. Ved lugtgener er man interesseret i kort-tidsværdier, typisk 1 minuts middelværdier. I løbet af en time vil røgfanen blive udjævnet af variationer i turbulens og vind, men røgfanen kan være mere koncentreret og give højere middelværdier i et kortere tidsrum. Derfor kan timemiddelværdierne omregnes til korttidsmiddelværdier vha. en *mean-to-peak* omregningsfaktor (beskrevet i 1. supplement til Miljøstyrelsens vejledning nr. 4, 1985). Vi benytter en faktor 2,8 til dette, som omregner timemiddelværdier til 1-minutsmiddelværdier for arealkilder. Samme mean-to-peak omregningsfaktor blev anvendt i den tidligere lugtundersøgelse for lufthavnen udført af Fenger et al. (2006).

Omregningsfaktoren på 2,8 multipliceres med de maksimale månedlige 99%-fraktiler for de beregnede timeværdier. Den maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdi betyder, at der i hver af højest syv enkelte timer på en måned (1% af månedens 720 timer) forekommer mindst én 1-minutsepisode, hvor lugten har oversteget denne beregnede fraktilværdi.

I beregningerne er de timebaserede emissioner anvendt for hver dag i det modellerede år inden for hvert af de tre flyaktivitetsniveauer. Resultaterne skal derfor ikke tolkes som en gengivelse af de faktiske lugtkoncentrationer gennem året, da den reelle aktivitet og dermed emissionerne fra lufthavnen varierer over tid. Beregningerne repræsenterer i stedet et scenarie, hvor et givent flyaktivitetsniveau antages at være tidsmæssigt fordelt på samme måde for alle døgn over hele året. Herved isoleres betydningen af de meteorologiske variationer for spredningen af lugtemissionerne.

De beregnede maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdi kan således fortolkes som et udtryk for de lugtkoncentrationsniveauer, der kan forekomme under de mest ugunstige meteorologiske forhold for det pågældende aktivitetsniveau. Metoden sikrer samtidig, at de tre aktivitetsniveauer kan sammenlignes direkte, idet forskelle i de beregnede koncentrationer alene skyldes forskelle i emissionerne og deres spredning under årets meteorologiske forhold.

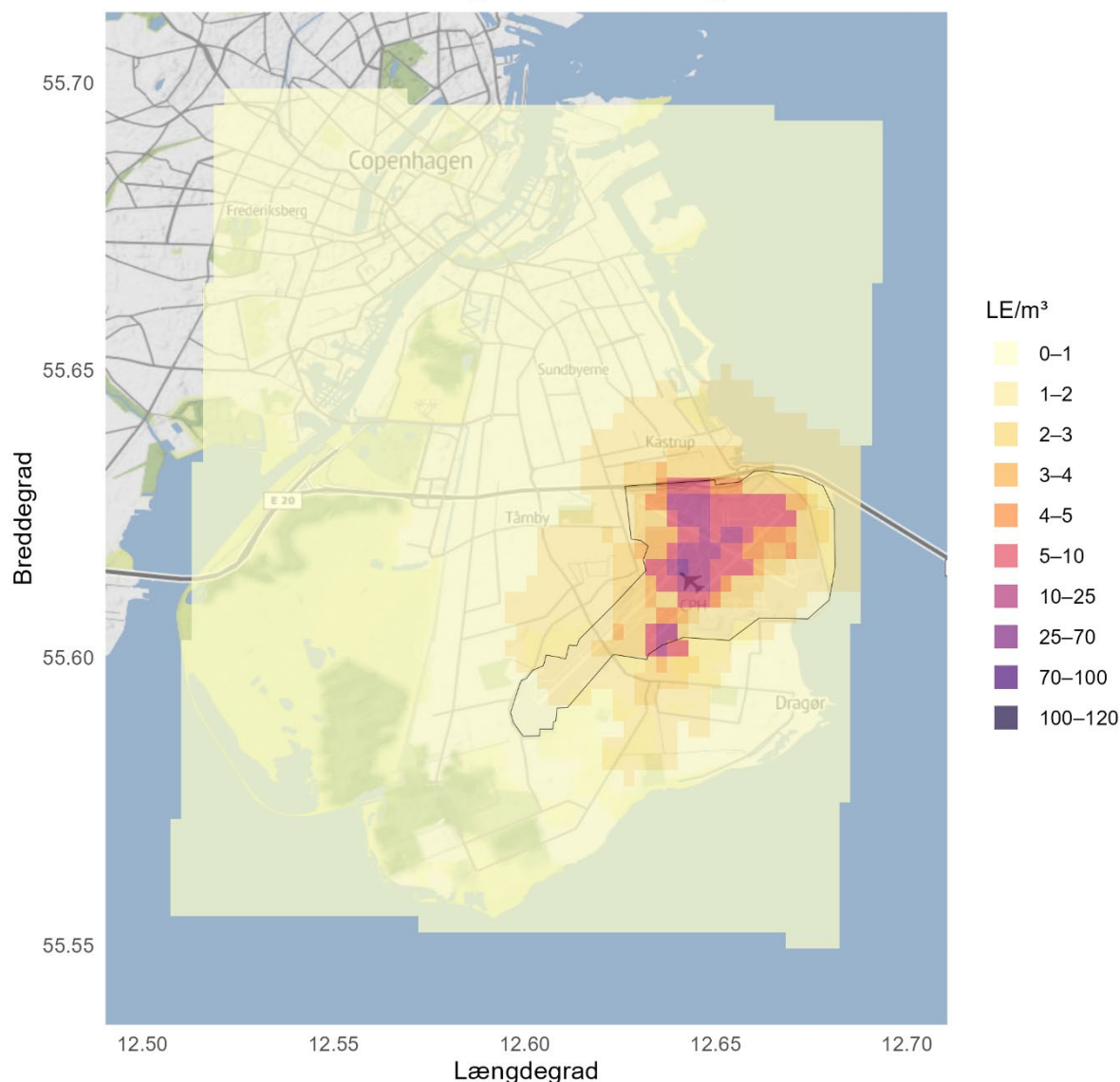
4.3 Lugtgener fra Københavns Lufthavn

4.3.1 Rumlig fordeling af spidsværdier

Figur 4.2, figur 4.3, og figur 4.4 viser de maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdier for de tre flyaktivitetsniveauer lav, middel og høj for Københavns lufthavn i 2025. Der ses en tydelig sammenhæng mellem aktivitetsniveau og højeste værdier for lugtkoncentrationen i Københavns Lufthavns nærområde.

I store dele af de omkringliggende områder bidrager Københavns Lufthavn med maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdier for lugtkoncentrationer på under 5 LE/m³ ved det lave flyaktivitetsniveau. Der er dog enkelte undtagelser inden for få hundrede meter af lufthavnen (figur 4.2). Dette gælder den nordlige del af Store Magleby samt området nord for terminalbygningerne ved Amagermotorvejen. Uden for Københavns Lufthavn opnås den største maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdi for lugtkoncentrationer i den nordligste del af Store Magleby på 23 LE/m³. Den næsthøjeste værdi uden for lufthavnens område er på 7 LE/m³ ligeledes i Store Magleby. På selve lufthavnsområdet opnås de højeste værdier for lugtkoncentrationerne på op til 61 LE/m³. De højeste værdier forekommer især nær terminalbygningerne, rullevejene og startpunkterne på landingsbanerne.

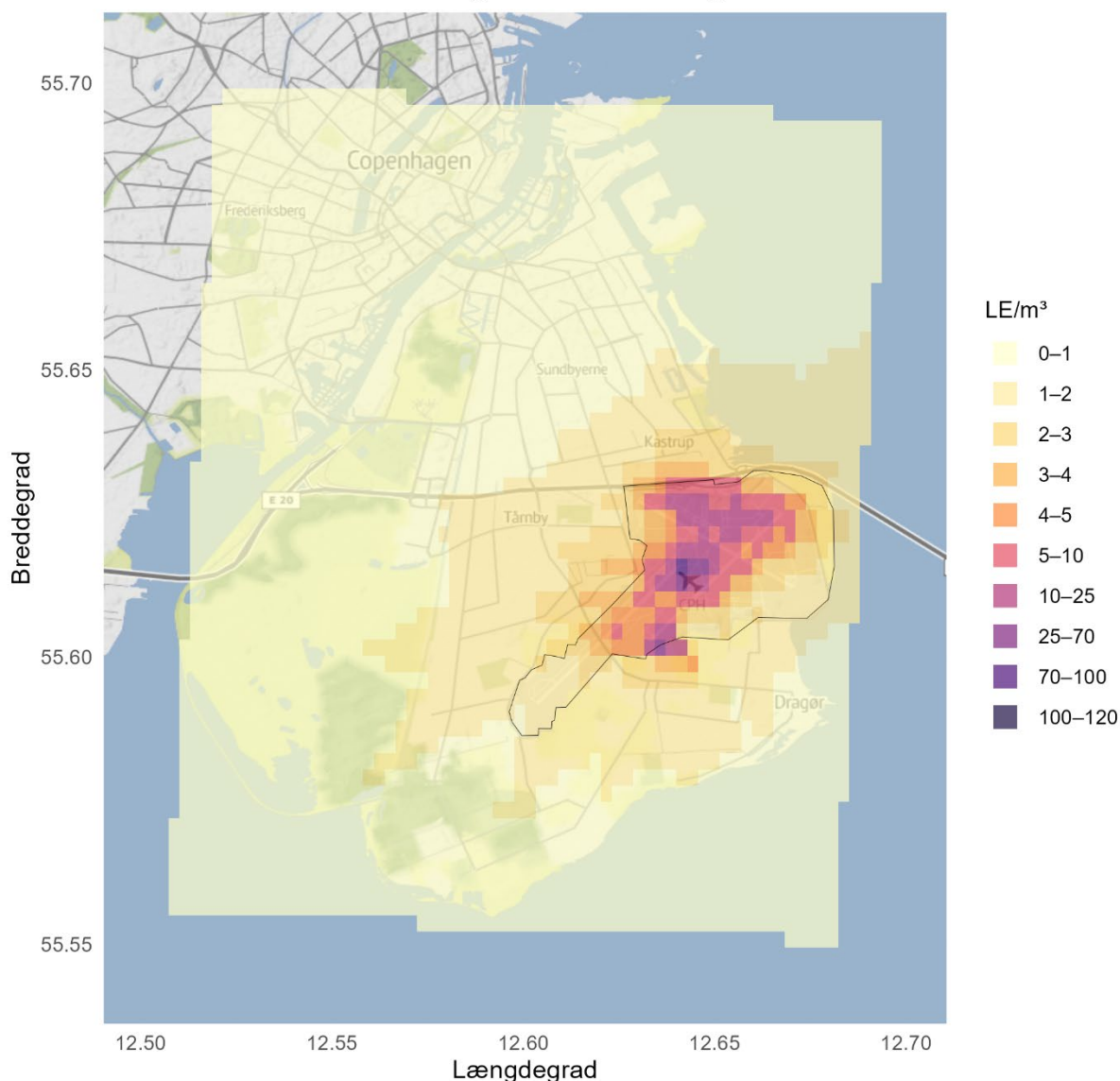
Lav flyaktivitet – Københavns Lufthavns bidrag til lugtkoncentrationer maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktiler



Figur 4.2. Maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdier i for lav flyaktivitet beregnet for år 2025. Københavns Lufthavns område er angivet med et løst omrids baseret på matrikelkort fra <https://www.matriklen.dk/kort>. © Stadia Maps © OpenMapTiles © OpenStreetMap og © Stamen Design er brugt til at fremstille figuren.

I store dele af de omkringliggende områder bidrager Københavns Lufthavn med maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdier for lugtkoncentrationer på under 5 LE/m³ ved middel flyaktivitetsniveau. Lugtkoncentrationsniveauerne er dog højere end ved det lave flyaktivitetsniveau i lufthavnen. I enkelte områder inden for få hundrede meter af lufthavnen opnås værdier på 5 LE/m³ (figur 4.3). Dette gælder den nordlige del af Store Magleby (17 LE/m³ til 25 LE/m³) samt området nord for terminalbygningerne ved Amagermotorvejen (7 LE/m³). På selve lufthavnsområdet opnås de højeste værdier, på op til 99 LE/m³. De højeste værdier forekommer især nær terminalbygningerne, rullevejene og startpunkterne på landingsbanerne.

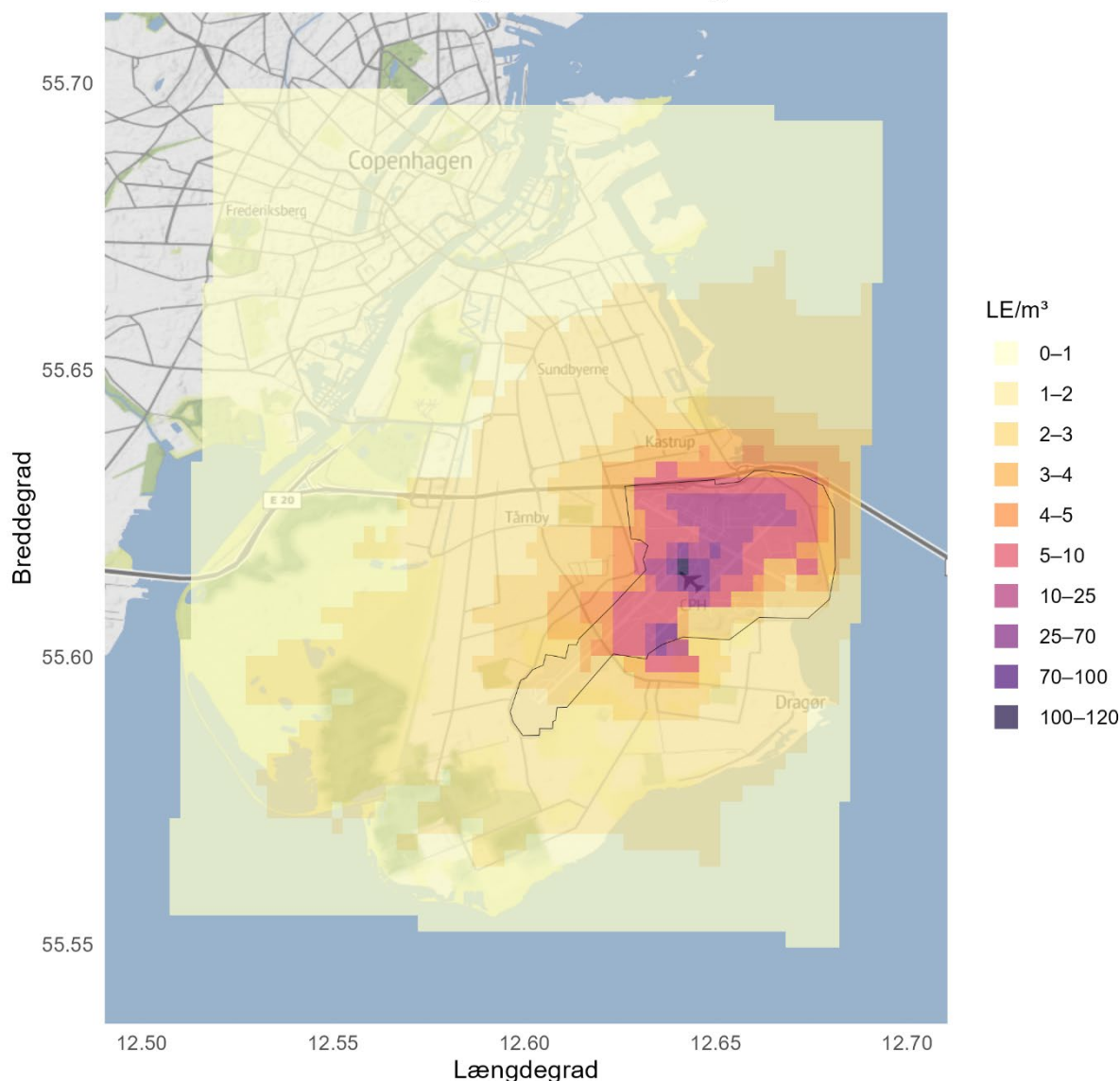
Middel flyaktivitet – Københavns Lufthavns bidrag til lugtkoncentrationer maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktiler



Figur 4.3. Maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdier for middel flyaktivitet beregnet for år 2025. Københavns Lufthavns område er angivet med et løst omrids baseret på matrikelkort fra <https://www.matriklen.dk/kort>. © [Stadia Maps](#) © [OpenMapTiles](#) © [OpenStreetMap](#) og © [Stamen Design](#) er brugt til at fremstille figuren.

Ved det høje flyaktivitetsniveau øges Københavns Lufthavns bidrag til lugtkoncentrationen uden for skel i de omkringliggende områder (figur 4.4). Større områder påvirkes af maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdier på mellem 1 og 5 LE/m³. I enkelte områder inden for 500 til 700 meter fra lufthavnen opnås værdier på mellem 5 og 10 LE/m³. Dette gælder Store Magleby, området nord for terminalbygningerne ved Amagermotorvejen i Kastrup, og industriområdet vest for Københavns Lufthavn mellem Amager Landevej og lufthavnen. I den nordligste del af Store Magleby opnås en maksimal 1-minutskorrigeret månedlige 99%-fraktilværdi på 43 LE/m³. På lufthavnens eget område opnås den højeste værdi på 119 LE/m³. De højeste lugtkoncentrationer forekommer især nær terminalbygningerne, rullevejene og startpunkterne på landingsbanerne.

Høj flyaktivitet – Københavns Lufthavns bidrag til lugtkoncentrationer maksimale 1-minutkorrigerede månedlige 99%-fraktiler



Figur 4.4. Maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdier for høj flyaktivitet beregnet for år 2025. Københavns Lufthavns område er angivet med et løst omruds baseret på matrikelkort fra <https://www.matriklen.dk/kort>. © Stadia Maps © OpenMapTiles © OpenStreetMap og © Stamen Design er brugt til at fremstille figuren.

Det er værd at bemærke, at lugtemissionerne er opgjort for seks forskellige dage fordelt på tre aktivitetsniveauer, hvor døgnfordelingen af emissionernes placering og størrelse varierer mellem dagene. Derfor er der ikke nødvendigvis en direkte lineær sammenhæng mellem de tre aktivitetsdage og det resulterende spredningsmønster for lugtkoncentrationerne.

4.3.2 1-minutskorrigerede tidsserier for udvalgte lokationer

Ni punkter, der repræsenterer boligområder, skole og institutioner, samt rekreative områder, er blevet udvalgt til undersøgelsen af den tidlige variation af lugtgenerne i forskellige afstande og retninger i forhold til Københavns lufthavn (figur 4.1). Punkterne er udvalgt, så de repræsenterer forskellige geografiske placeringer omkring lufthavnen og kan anvendes til at vurdere, hvordan den tidlige variation i lugtkoncentrationerne afhænger af afstanden og retningen fra lufthavnen. Den tidlige variation i lugtkoncentrationerne i de

umiddelbart omkringliggende områder forventes overordnet set at være sammenlignelig med variationen i de udvalgte punkter. Eksempelvis kan boligområdet ved Løjtegårdsskolen og fodboldbanerne i Kastrup, som ligger i omtrent samme afstand og retning fra lufthavnen overordnet set forventes at have en sammenlignelig tidslig variation i lugtkoncentrationerne.

I OML-Multi, er der udtrukket beregnede timekoncentrationer for de ni punkter, som er korrigeret til 1-minutsværdier vha. omregningsfaktoren 2,8. figur 4.5 viser disse 1-minutskorrigeret værdier for år 2025 for de tre flyaktivitetsniveauer for de ni udvalgte lokationer. Det fremgår tydeligt, at flyaktivitetsniveauet i lufthavnen har en indflydelse på lugtkoncentrationerne uanset retning og afstand – jo højere flyaktivitet des højere lugtkoncentrationer.

Overordnet set aftager 1-minutslugtkoncentrationerne med afstanden til lufthavnen, men kildernes placering på lufthavnens område har også en indflydelse på spredningen til omgivelserne. De højeste lugtkoncentrationer for alle flyaktivitetsniveauer beregnes ved lokationen *Fodboldbaner, Kastrup*, hvor den højeste 1-minutskorrigerede lugtkoncentration på 18,4 LE/m³ opnås ved det høje flyaktivitetsniveau. Til sammenligning, er den højeste lugtkoncentration ved *Dragør Tennisklub* 3,2 LE/m³. Betydning for placering af kilderne på lufthavnens område kan ses bl.a. ved *Præstefællede-koarteret syd*, *Børnehuset Tømmerup Haveby* og *Dragør Nordstrand*. *Dragør Nordstrand* ligger umiddelbart tættere på lufthavnens matrikel end de to øvrige lokationer, men der opnås højeste 1-minutskorrigerede lugtkoncentrationer på sammenligneligt niveau. Dette viser, at den geografiske placering af de enkelte kilder på lufthavnens område har betydning for de lugtkoncentrationer, der beregnes ved de enkelte lokationer.

Ved de enkelte lokationer, ses også en stor tidslig variation i lugtkoncentrationen, og ingen af lokationerne har konstant forhøjede lugtkoncentrationer. Over 99 % af tiden er de beregnede lugtkoncentrationer under 1 LE/m³ ved syv ud af ni lokationer for alle tre flyaktivitetsniveauer. De to undtagelser er lokationerne *Fodboldbaner, Kastrup* og *Store Magleby Skole*, hvor lugtkoncentrationerne er under 1 LE/m³ i henholdsvis 93,9-97,3 % og 98,2-99,4 % af tiden på tværs af de tre flyaktivitetsniveauer.

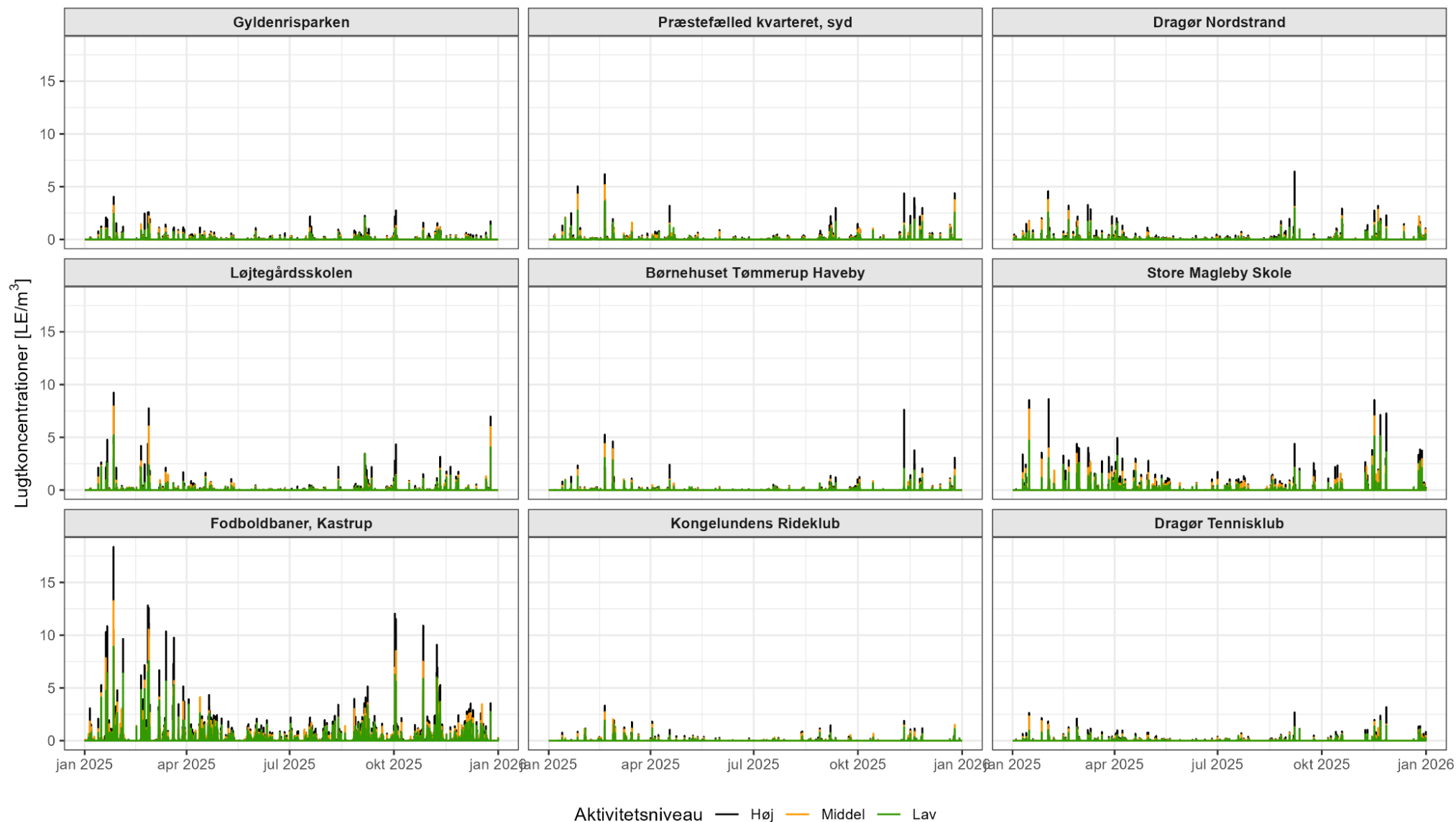
Der opnås generelt højere lugtkoncentrationer i vinterhalvåret, hvilket afspejler de meteorologiske forhold, der typisk forekommer i denne periode. Dette illustreres på figur 4.6, der viser 1-minutskorrigerede lugtkoncentrationer for en periode i vinterhalvåret med fokus på januar 2025. Figuren indeholder desuden information om vindhastighed og vindretning. Vinddata er kun vist i figur 4.6, når vindretningen ved den givne lokation er fra Københavns Lufthavn. For hver lokation er der defineret et vinkelinterval for vindretningen, inden for hvilket hele lufthavnens matrikel ligger opstrøms for den pågældende lokation. Vinkeludstrækningen varierer mellem 90° og 175° og er opdelt i intervaller på 5°. Vindhastigheden er angivet for hver time, hvor mørkere blå angiver lavere vindhastighed.

De højeste 1-minutskorrigerede lugtkoncentrationer beregnes ved lokationerne, når vinden kommer fra Københavns Lufthavn. Dog er der enkelte undtagelser, som kan skyldes at vinkeludstrækningen er opmålt i 5 graders intervaller, samt ændringer i vindretningen time for time.

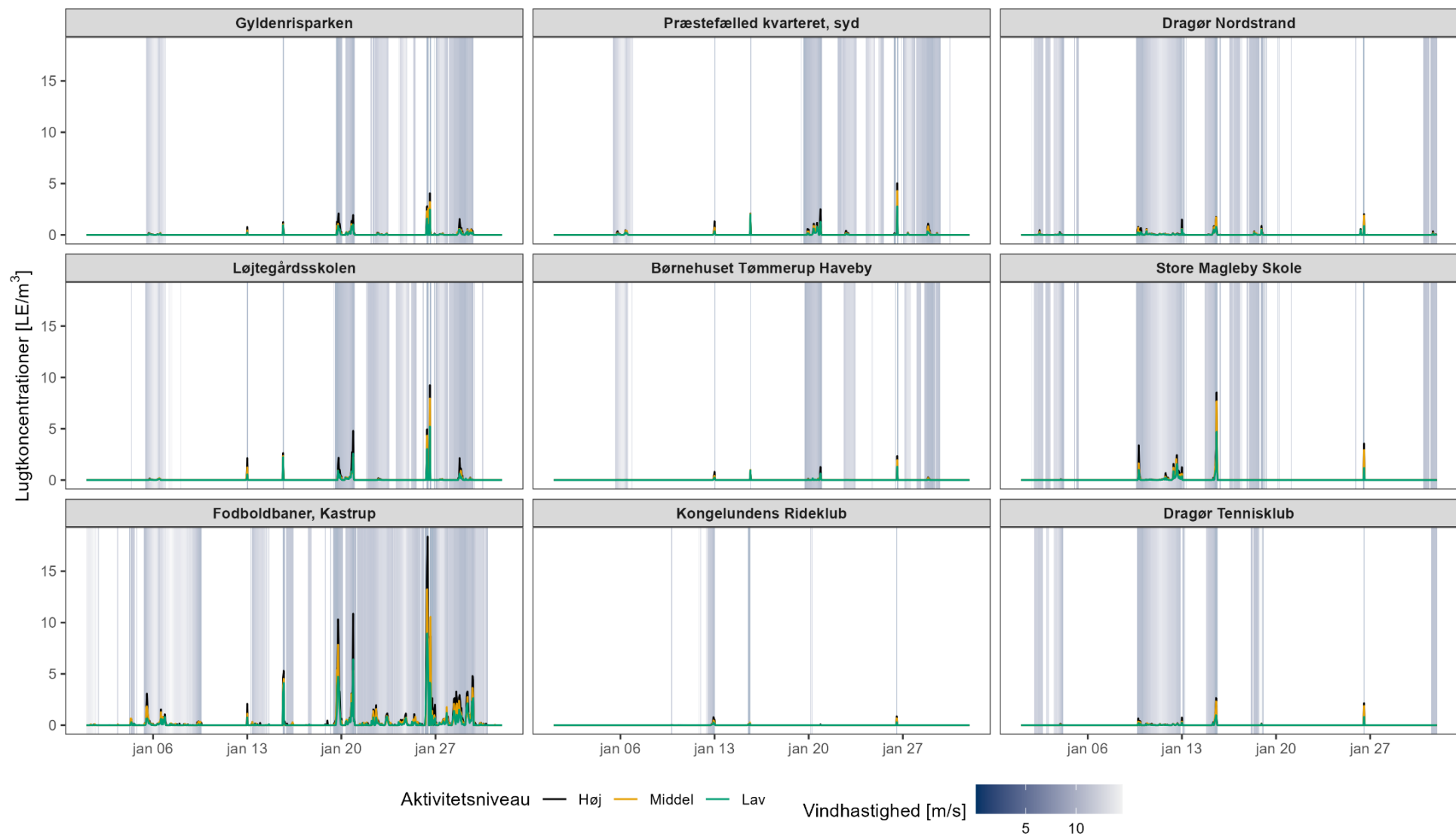
Når vinden kommer fra lufthavnen, medfører det ikke nødvendigvis forhøjede lugtkoncentrationer ved de undersøgte lokationer. Dette skyldes både

den geografiske placering af emissionerne på lufthavnens område og den tidslige variation i emissionerne. Ved Store Magleby Skole er sammenhængen dog meget tydelig, idet de højeste lugtkoncentrationer opnås ved vindretninger mellem 345° og 2°, når bane 04 anvendes, og flystarterne foregår relativt tæt på Store Magleby.

Generelt opnås de højeste 1-minutskorrigerede lugtkoncentrationer ved lave vindhastigheder. Dette skyldes, at spredningen og dermed opblandingen af lugtemissionerne er mindre effektiv ved lave vindhastigheder, sådan at lugten bliver koncentreret nær jordoverfladen. Sådanne forhold kan for eksempel forekomme om vinteren under stabile højtrykssituationer.



Figur 4.5. Tidsserier af 1-minutskorrigerede lugtkoncentrationer for udvalgte lokationer for boligområder, skoler og institutioner samt rekreative områder for lav, middel og høj flyaktivitet for år 2025.



Figur 4.6. Tidsserier af 1-minutskorrigerede lugtkoncentrationer for udvalgte lokationer for boligområder, skoler og institutioner samt rekreative områder for lav, middel og høj flyaktivitet for januar 2025. Perioder, hvor vinden kommer fra Københavns Lufthavn ved de udvalgte lokationer, er markeret med blå vertikale bånd, hvor farven indikerer vindhastigheden for den givne time.

Som det fremgår af afsnit 4.1, kan lugtgrænseværdien godt være overholdt, selv om der i løbet af året forekommer 1-minutkorrigerede middelværdier, som er højere end grænseværdien. Dette skyldes, at grænseværdien vurderes på baggrund af de maksimale 1-minutkorrigerede månedlige 99%-fraktiler, og ikke de absolut højeste 1-minutkorrigerede koncentrationer. Hvis de 12 månedlige 99%-fraktiler antages at være omtrent ens, vil der hver måned kunne forekomme ca. syv timer med højere lugtkoncentrationer end den pågældende månedlige 99%-fraktil. Dette svarer samlet til, at i op til 84 timer om året kan lugtkoncentrationen være højere end den maksimale 99%-fraktil (dvs. 0.96 % af tiden).

Tabel 4.1 viser en sammenligning mellem de højeste 1-minutkorrigerede lugtkoncentrationer, de maksimale 1-minutkorrigerede månedlige 99%-fraktiler og antal gange de højeste 1-minutkorrigerede lugtkoncentrationer overskrider lugtgrænseværdier på 5 LE/m³ for de ni udvalgte lokationer og tre flyaktivitetsniveauer.

For alle lokationer og flyaktivitetsniveauer, er de højeste 1-minutkorrigerede lugtkoncentrationer højere end de maksimale 1-minutkorrigerede månedlige 99%-fraktiler. Antallet af gange de højeste 1-minutkorrigerede værdier er større end 5 LE/m³ stiger med flyaktivitetsniveauet. Ved lav flyaktivitet, er det kun ved tre lokationer, at 1-minutkorrigerede lugtkoncentrationer er højere end 5 LE/m³. Ved middel og høj flyaktivitet, er dette tilfældet for hhv. fire og seks lokationer. Det er dog kun ved *Fodboldbanerne, Kastrup* at den maksimale 1-minutkorrigerede månedlige 99%-fraktil er over 5 LE/m³ (lugtgrænseværdien). For de ni udvalgte lokationer er der således kun overskridelse af lugtgrænseværdien ved *Fodboldbanerne, Kastrup*.

Tabel 4.1. viser højeste 1-minutkorrigerede middelværdier (Højeste), de maksimale 1-minutkorrigerede månedlige 99%-fraktiler (99%-fraktiler) og antal gange de højeste 1-minutkorrigerede middelværdier overskrider 5 LE/m³ (Over 5 Le/m³) for de ni lokationer og tre aktivitetsniveauer.

	Lavt flyaktivitetsniveau			Middel flyaktivitetsniveau			Højt flyaktivitetsniveau		
	Højeste	99%-fraktil	Over 5 LE/m ³	Højeste	99%-fraktil	Over 5 LE/m ³	Højeste	99%-fraktil	Over 5 LE/m ³
Gyldenrisparken	2.5	0,79	0	3.2	1,08	0	4.1	1,61	0
Præstefælled kvarteret, syd	3.6	1,12	0	5.2	1,80	1	6.2	2,86	2
Dragør Nordstrand	3.0	0,93	0	3.8	1,20	0	6.4	1,76	1
Løjtegårdsskolen	5.2	1,44	1	8.0	2,17	3	9.2	3,42	4
Børnehuset Tømmerup Haveby	3.1	0,77	0	4.4	1,55	0	7.6	2,19	2
Store Magleby Skole	5.1	1,62	2	7.7	2,17	2	8.6	3,14	5
Fodboldbaner, Kastrup	8.9	5,03	21	13.2	5,35	28	18.4	7,70	46
Kongelundens Rideklub	1.9	0,58	0	2.7	1,13	0	3.3	1,20	0
Dragør Tennisklub	1.9	0,62	0	2.3	0,88	0	3.2	1,19	0

4.4 Overskridelse af lugtkoncentrationsbidrag fra Københavns Lufthavn

Som nævnt i afsnit 4.3.1, overskrider lugtbidraget fra Københavns Lufthavn lugtgrænseværdien på 5 LE/m³ enkelte steder lige uden for lufthavnens eget område. Dette gælder området i Kastrup lige nord for terminalbygningerne og den nordlige del af Store Magleby. Ved middel og højt aktivitetsniveau forekommer der desuden overskridelser i området vest for lufthavnen ved Amager Landevej.

Ved alle tre flyaktivitetsniveauer, ligger den maksimale 1-minutskorrigerede månedlige 99%-fraktilværdi mellem 5 og 10 LE/m³ ved Kastrup lige nord for terminalbygningerne. Ved middel og højt flyaktivitetsniveau ligger værdien ligeledes mellem 5 og 10 i området mellem Amager Landevej og lufthavnen. I den nordligste del af Store Magleby forekommer der højere overskridelser, som overstiger 10 LE/m³ ved alle tre flyaktivitetsniveauer.

Tidsserieanalysen af lugtkoncentrationerne ved de ni udvalgte lokationer viser samtidig, at lugtkoncentrationerne varierer betydeligt over tid, og at forhøjede lugtkoncentrationer forekommer i kortere perioder. Selv ved de lokationer, hvor den maksimale månedlige 99%-fraktilværdi overskrider 5 LE/m³, er lugtkoncentrationen således under 5 LE/m³ i størstedelen af tiden. De højeste lugtkoncentrationer forekommer primært under bestemte meteorologiske forhold, herunder lave vindhastigheder og vindretninger, hvor lugtemissionerne fra relevante dele af lufthavnen transporteres mod den pågældende lokation.

Sammenlignet med den tidligere lugtundersøgelse i Københavns Lufthavn (Fenger et al., 2006) beregnes i den nuværende lugtundersøgelse en betydelig reduktion i overskridelserne af lugtgrænseværdien på 5 LE/m³. Dette stemmer godt overens med reduktionen i lugtemissionerne for hovedmotorer og APU. Set i forhold til den tidligere lugtundersøgelse er lugtemissionen fra hovedmotorer og APU i den nuværende lugtundersøgelse samlet set faldet med henholdsvis 65 %, 51 % og 34 % for lavt, middel og højt flyaktivitetsniveau. Den største lugtpåvirkning forekommer fortsat i de samme områder tæt på lufthavnen.

4.5 Usikkerheder relateret til spredningsberegninger med OLM-Multi

Beregningerne med OLM-Multi er forbundet med en række usikkerheder, som både relaterer sig til modelantagelser, inputdata og den måde, atmosfæriske processer beskrives på i modellen. OLM-Multi er en Gaussisk spredningsmodel udviklet til lokale skalaer (typisk op til 10–20 km), hvor koncentrationerne beregnes ud fra forenklede beskrivelser af turbulens og spredning i atmosfæren (Olesen et al., 2007).

En væsentlig kilde til usikkerhed er knyttet til modellens grundlæggende antagelser. Som Gaussisk model forudsætter OLM-Multi, at koncentrationsfordelingen følger en normalfordeling, og at spredningen kan beskrives ved parametre som stabilitet, friktionshastighed og blandingshøjde. Disse kan være behæftet med betydelig usikkerhed især under komplekse meteorologiske forhold.

Inputdata udgør en anden central usikkerhedskilde. Beregningerne er følsomme over for emissionsdata (fx masseflux, temperatur og udstødningshastighed), geometriske forhold (udslipshøjde) samt meteorologiske data. Selv mindre fejl i disse input data kan føre til væsentlige variationer i de beregnede koncentrationer i omgivelserne.

Beregningerne med OML-Multi sammenholdes løbende med målinger af luftkvalitet nær kendte kilder. Disse målinger udføres typisk i forbindelse med specifikke målekampagner, og er derfor ofte begrænsede i både tid og rum. Nyere studier viser, at OML-Multi generelt reproducerer den overordnede fordeling af koncentrationer tilfredsstillende, men at tidspunktet for spidsværdier ikke altid rammes præcist. Dette er især observeret ved målinger tæt på kilder (fra ca. 100 m til 2 km), som f.eks. ved krydstogtskibe i Københavns havn. Afvigelserne kan i høj grad tilskrives modellens følsomhed over for variationer i den faktiske vindretning sammenlignet med de timemiddelværdier af vinddata, som anvendes i OML-Multi (Lansø et al., 2023).

I en sammenligning med målt NO_2 -koncentration i Tårnby tæt ved Københavns Lufthavn (Gemmas Allé), udviser OML-Multi en lav systematisk bias ($\text{FB} = -0,11$), hvilket indikerer en svag underestimering af koncentrationerne. Modellen demonstrerer god prædiktionssevne ($R = 0,70$) og moderate fejlniveauer ($\text{NMSE} = 0,30$), hvilket tyder på, at den gengiver den tidslige variation godt, men stadig viser en vis spredning i forhold til observationerne (Lansø et al., 2024).

I en ny modelsammenligning af lokale spredningsmodeller, blev spredningen fra arealkilder undersøgt (Kooi et al, 2026). OML-Multi simulerede generelt de højeste koncentrationer sammenlignet med de seks øvrige modeller i sammenligningsstudiet. Resultaterne indikerer, at OML-Multi er lidt konservativ i modellering af arealkilder. Mekanismerne bag forskellene mellem modellerne blev ikke undersøgt i det pågældende modelsammenligningsstudie, men forventes undersøgt i et kommende studie i 2027.

I samme modelsammenligningsprojekt, er OML-Multi en af de bedst præsterende modeller, når det gælder simulering af NO_x -koncentrationer omkring Balko-anlægget (kompressorstation nær Oklahoma City, USA) sammenlignet med målinger omkring anlægget (fractional bias = 0,15, $\text{NMSE} = 0,04$, geometrisk middelmiddelbias = 1,15, geometrisk varians = 1,0). For NO_2 -koncentrationer simulerer OML-Multi ligeledes resultater der er meget tæt på de observerede værdier (fractional bias = -0,27, $\text{NMSE} = 0,17$, geometrisk middelmiddelbias = 0,80, geometrisk varians = 1,1), se Kooi et al. (2026). Det skal bemærkes, at der i de nævnte studier ikke tages hensyn til usikkerheder i selve målingerne.

5 Referencer

Al-Ahmad, M., M. Dimashki, A. Nassour, and M. Nelles. 2012. "Assessment and Behaviour of Landfill Gas Emission in Jleeb Al-Sheyoukh Landfill Site in Kuwait." *Proceedings of the 4th International Conference on Environmental Technology and Knowledge Transfer*, Hefei, China, May 24–25, 2012, 53–61.

argumet (Bahmann und Schmonsees GbR). G20 Geruchsprognose. Ausbau Flughafen Frankfurt Main, Unterlage zur Planfeststellung (<http://213.61.31.27/online/UnterlagenPlanfeststellung/intro.htm>, Ordner 60), 2004.

Bahmann, W., Schmonsees, N., Kretz, H., 1994. Gutachten zu flugsverkehrbedingten Geruchsimmissionen in der Umgebung des Rhein-Ruhr Flughafens Düsseldorf. TU "V Rheinland, Köln. Var. pag.

Bendtsen, K.M., Bengtsen, E., Saber, A.T. *et al.* Correction to: A review of health effects associated with exposure to jet engine emissions in and around airports. *Environ Health* **20**, 20 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00705-2>

Bennett, M., Christie, S. (2007): An Application Of Backscatter LIDAR To Model The Odour Nuisance Arising From Aircraft Tyre Smoke, 5 s, 11th conference on "Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes", Cambridge 2007.

Capelli, L., S. Sironi, R. Del Rosso, G. Bianchi, and E. Davoli. 2012. "Olfactory and Toxic Impact of Industrial Odour Emissions." *Water Science and Technology* 66 (7): 1399–1406. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.352>

Capelli, L., S. Sironi, and R. Del Rosso. 2014. "Odour Emission Factors: Fundamental Tools for Air Quality Management." *Chemical Engineering Transactions* 40: 193–198. <https://doi.org/10.3303/CET1440033>

Chandra, S., L. Bricknell, S. Makiela, S. Bruce, and A. Naweed. 2024. "Odour and Indoor Air Quality Hazards in Railway Cars: An Australian Mixed Methods Case Study." *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 22 (2): 503–517. <https://doi.org/10.1007/s40201-024-00908-y>

Citation: Chen, M.; Li, S.; Yun, L.; Xu, Y.; Chen, D.; Lin, C.; Qiu, Z.; You, Y.; Liu, M.; Luo, Z.; et al. Characteristics of Volatile Organic Compounds Emitted from Airport Sources and Their Effects on Ozone Production. *Toxics* 2024, 12, 243. <https://doi.org/10.3390/toxics12040243>

Di Nardo, A., G. F. Santonastaso, I. Bortone, M. Di Natale, and D. Musmarra. 2013. "A Fuzzy Early Warning System to Mitigate the Odorous Substances Emitted from a Waste Landfill." *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST)*, Athens, Greece, September 5–7, 2013.

Ellermann, T., Massling, A., Løfstrøm, P., Winther, M., Nøjgaard, J. K. & Ketzel, M. 2011. Undersøgelse af luftforureningen på forpladsen i Københavns Lufthavn Kastrup i relation til arbejdsmiljø. DCE – Nationalt Center for Miljø

og Energi, Aarhus Universitet. 148 s. - Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 5. <http://www2.dmu.dk/Pub/TR5.pdf>

EMEP/EEA, 2025: Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, prepared by the UNECE/EMEP Task Force on Emissions Inventories and Projections (TFEIP). Available at: [EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – European Environment Agency \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/air-pollutant-emission-inventory-guidebook-2023) (12-01-2026).

Fenger, J., Bastholm, N. H., Bossi, R., Kousgaard, U., Løftstrøm, P. og Winther, M.: Undersøgelser af lugt fra flytrafik i Københavns Lufthavn., 2. reviderede udgave, 74 s., 2006.

Fenger, J., Løftstrøm, P., Winther, M., Kousgaard, U. & Oxbøl, A., 2006: Odour in the surroundings of Copenhagen Airport, Atmospheric Environment 40 (2006b) 368–374.

Felten, C., U. Metzendorf, T. Weiss, and J. Hedtmann. 2013. “Air Quality in Aircraft—Causes of Odors and Relationship with Health Complaints.” *Flugmedizin Tropenmedizin Reisemedizin* 20 (1): 19–23.

Grzelka, A., Romanik, E., & Miller, U. (2019). Odour nuisance assessment of the food industry wastewater treatment plant. E3s Web of Conferences, 100, 00024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000024>

Hüttig, G., Hotes, A., Lorkowski, S., 1996. Emissions/Immissionsprognose für das Planfeststellungsverfahren Vorfeld 2 des Flughafen Hamburg. Gutachten im Auftrag der Flughafen Hamburg GmbH, Berlin (in German).

ICAO (2020): Airport Air Quality Manual (doc. 9889), second edition 2020, ISBN 978-92-9258-963-9 International Civil Aviation Organization.

Jørgensen, P.J., Hansen, L.S. & Jørgensen, O. (2006). *Forebyggelse af lugt og andre barrierer for biogasanlæg*. Miljøprojekt nr. 1136. Miljøstyrelsen.

Kooi, E., Thorkelsdottir, G., Meijer, P., Stocker, J., Lefebvre, W., Vigier, A., Lansø, A. S., Krol, M., Jacobs, C., van Pul, A., Wichink Kruit, R. 2025. Differences in calculations of concentration and deposition of **ammonia and nitrogen oxides** at local scale - A comparison of eight atmospheric transport models, RIVM report 2025-0047, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) DOI 10.21945/RIVM-2025-0047

Kooi, E., Thorkelsdottir, G., Meijer, P., Stocker, J., Lefebvre, W., Vigier, A., Lansø, A. S., Krol, M., Sterk, M., Jacobs, C., Jonkers S., van Pul, A., Wichink Kruit, R. 2026. Modelling reactive nitrogen concentrations and deposition on a local scale Comparison of eight models and their ensembles with three measurement campaigns, RIVM report 2026-0041. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), DOI 10.21945/RIVM-2026 0041

Lansø, A. S., Winther, M., Jensen, S. S., Løftstrøm, P. 2023. Impact on air quality from increasing cruise ship activity in Copenhagen port, Environ. Res. Commun. 5 021003, DOI 10.1088/2515-7620/acb90c

Lansø, A.S., Winther, M., Andersen, C. 2024. Kortlægning af partikelforureningen i Tårnby Kommune. Delrapport 3 - Detaljeret kortlægning af luftforurening fra Københavns Lufthavn. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 73 s. - Videnskabelig rapport nr. 615.

Miljøstyrelsen, 1985: Begrænsning af lugtgener fra virksomheder. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 4, 27 s.

Miljøstyrelsen (2024). 1. supplement til Miljøstyrelsens vejledning nr. 4 1985 om begrænsning af lugtgener fra virksomheder. Miljøstyrelsen, 11. november 2024.

Nasoulis, C. P., S. Mantziou, V. G. Gkoutzamanis, and A. I. Kalfas. 2024. "Odour-Sensitive Passenger Comfort in Small Aircraft Cabins." *Aeronautical Journal* 128 (1321): 429–440. <https://doi.org/10.1017/aer.2023.52>.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, R., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Levin, L., Andersen, T.A., Tougaard, S.L., Arendal, L. S. H., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott Bentsen, N., Baunbæk, L., & Hansen, M.G. 2026. Denmark's National Inventory Document 2026. Emission Inventories 1990-2024 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Paris Agreement. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 955 pp. Scientific Report No. 706.

Owen, B.; Anet, J.G.; Bertier, N.; Christie, S.; Cremaschi, M.; Dellaert, S.; Edebeli, J.; Janicke, U.; Kuenen, J.; Lim, L.; et al. Review: Particulate Matter Emissions from Aircraft. *Atmosphere* 2022, 13, 1230. <https://doi.org/10.3390/atmos13081230>

Oxbøl, A. 2003. Måling af lugt fra MD80 motor. Arbejdsnotat, DK-teknik, 2003.

Piccardo, M. T., M. Geretto, A. Pulliero, and A. Izzotti. 2022. "Odor Emissions: A Public Health Concern for Health Risk Perception." *Environmental Research* 204 (Part B): 112121. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112121>

Piringer, M., W. Knauder, I. Anders, K. Andre, W. Zollitsch, S. J. Hörtenhuber, J. Baumgartner, K. Niebuhr, I. Hennig-Pauka, M. Schönhart, and G. Schaubberger. 2019. "Climate Change Impact on the Dispersion of Airborne Emissions and the Resulting Separation Distances to Avoid Odour Annoyance." *Atmospheric Environment: X* 2: 100021. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100021>

© [Stadia Maps \(https://stadiamaps.com/\)](https://stadiamaps.com/),

© [OpenMapTiles \(https://openmaptiles.org/\)](https://openmaptiles.org/),

© [OpenStreetMap \(https://www.openstreetmap.org/copyright\)](https://www.openstreetmap.org/copyright),

and © [Stamen Design \(https://stamen.com/\)](https://stamen.com/). All websites were accessed on 27 August 2026.

Svane, C., Plovsing, B., Petersen, J. (1997): Københavns Lufthavn Kastrup - Støj fra flytrafik i 1996 (Copenhagen Airport Kastrup – Noise from air traffic in 1996). Delta Akustik, Copenhagen, 87 pp. (in Danish).

Winther, M., Kousgaard, U. & Oxbøl, A. 2006: Calculation of odour emissions from aircraft engines at Copenhagen Airport. - Science of the Total Environment (366): 218-232. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.015>.

Winther, M., Ellermann, T., Massling, A., Løfstrøm, P., Nøjgaard, J. K., Ketzel, M. & Kousgaard, U. 2014. Opgørelse af emissioner og antal partikler på forpladsen i Københavns Lufthavn. DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 84 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 21. Available at: <http://www2.dmu.dk/Pub/TR21.pdf>.

Winther, M. 2024: Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until 2022. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 150 pp. Scientific Report No. 624. Available at: https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/SR624.pdf.

Winther, M., Kousgaard, U., Ellermann, T., Massling, A., Nøjgaard, J. K., Ketzel, M. 2015: Emissions of NO_x, particle mass and particle numbers from aircraft main engines, APU's and handling equipment at Copenhagen Airport, Atmospheric Environment 100 (2015) 218-229.

Winther, M., Lansø, A.S. 2025. Påvirkning af emissioner og luftkvalitet ved brug af nye standpladser i Københavns Lufthavn. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 86 s. - Videnskabelig rapport nr. 668.

Bilag 1 Oversigt over fremsøgte peer-review kilder på web of science

Emne	Forfattere	Titel	Tidsskrift	År	DOI
lugt	Winther, M; Kousgaard, U; Oxbol, A	Calculation of odour emissions from aircraft engines at Copenhagen Airport	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	2006	10.1016/j.scitotenv.2005.08.015
lugt	Fenger, J; Lofstrom, P; Winther, M; Kousgaard, U; Oxbol, A	Odour in the surroundings of Copenhagen Airport	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	2006	10.1016/j.atmosenv.2005.09.059
AQ	Dissanayaka, M; Ryley, T; Spasojevic, B; Caldera, S	Modeling aircraft emissions during the taxiing phase to assess air quality impacts: An Australian airport case study	JOURNAL OF AIR TRANSPORT MANAGEMENT	2026	10.1016/j.jairtraman.2025.102918
GHG	Niemeier, HM; Forsyth, P	Addressing the impact of airport pricing, investment and operations on greenhouse gas emissions	JOURNAL OF AIR TRANSPORT MANAGEMENT	2025	10.1016/j.jairtraman.2024.102704
AQ	Dissanayaka, M; Ryley, T; Spasojevic, B; Caldera, S	Developing airport management practices towards net zero emissions: Experiences from the Australian aviation industry	HELIYON	2025	10.1016/j.heliyon.2024.e41201
IR	Asadollahfardi, G; Khoormeher, D; Sarmadi, MS; Mirmohammadi, M	Ammonia emissions from livestock facilities around an international airport, Tehran, Iran: An experimental and mathematical study	ENVIRONMENTAL PROGRESS & SUSTAINABLE ENERGY	2024	10.1002/ep.14359
GHG	Go, S; Melton, JE; Jiang, XJ; Zilliac, G	Estimations of Aircraft and Airport Domestic Greenhouse Gas Emissions from 2016-2021	AIAA AVIATION 2023 FORUM	2023	
AQ	Sznajderman, L; Coppa, M; Martiarena, JF; Olariaga, OD	QUANTIFICATION MODEL OF AIRPORT GROUND SUPPORT EQUIPMENT EMISSIONS	AVIATION	2022	10.3846/aviation.2022.17967
AQ	Hudda, N; Durant, LW; Fruin, SA; Durant, JL	Impacts of Aviation Emissions on Near-Airport Residential Air Quality	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY	2020	10.1021/acs.est.0c01859
AQ	Yang, XW; Cheng, SY; Lang, JL; Xu, R; Lv, Z	Characterization of aircraft emissions and air quality impacts of an international airport	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES	2018	10.1016/j.jes.2018.01.007
lugt	Piringer, M; Knauder, W; Anders, I; Andre, K; Zollitsch, W; Hörtenhuber, SJ; Baumgartner, J; Niebuhr, K; Hennig-Pauka, I; Schönhart, M; Schauburger, G	Climate change impact on the dispersion of airborne emissions and the resulting separation distances to avoid odour annoyance	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT-X	2019	10.1016/j.aeaoa.2019.100021
AQ	Mokalled, T; Le Calvé, S; Badaro-Saliba, N; Abboud, M; Zaarour, R; Farah, W; Adjizian-Gérard, J	Identifying the impact of Beirut Airport's activities on local air quality - Part I: Emissions inventory of NO2 and VOCs	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	2018	10.1016/j.atmosenv.2018.04.036
GHG	Dobruszkes, F	Is air/high-speed rail integration the panacea to curb the impact of aviation on climate change? The case of Frankfurt Airport	EUROPEAN JOURNAL OF TRANSPORT AND INFRASTRUCTURE RESEARCH	2025	10.59490/ejtir.2025.25.1.7477
AQ	Pandey, G; Venkatram, A; Arunachalam, S	Modeling the air quality impact of aircraft emissions: is area or volume the appropriate source characterization in AERMOD?	AIR QUALITY ATMOSPHERE AND HEALTH	2024	10.1007/s11869-024-01517-2
Aq	Trebs, I; Lett, C; Krein, A; Junk, J	Air quality impacts of aviation activities at a mid-sized airport in central Europe	ATMOSPHERIC POLLUTION RESEARCH	2023	10.1016/j.apr.2023.101696
lugt	Capelli, L; Sironi, S; Del Rosso, R; Bianchi, G; Davoli, E	Olfactory and toxic impact of industrial odour emissions	WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY	2012	10.2166/wst.2012.352
AQ	Winther, M; Kousgaard, U; Ellermann, T; Massling, A; Nojgaard, JK; Ketzel, M	Emissions of NOx, particle mass and particle numbers from aircraft main engines, APU's and handling equipment at Copenhagen Airport	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	2015	10.1016/j.atmosenv.2014.10.045
AQ	Masiol, M; Harrison, RM	Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	2014	10.1016/j.atmosenv.2014.05.070
lugt	Chandra, S; Bricknell, L; Makiela, S; Bruce, S; Naweed, A	Odour and indoor air quality hazards in railway cars: an Australian mixed methods case study	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCE AND ENGINEERING	2024	10.1007/s40201-024-00908-y
AQ	Rissman, J; Arunachalam, S; Woody, M; West, JJ; BenDor, T; Binkowski, FS	A plume-in-grid approach to characterize air quality impacts of aircraft emissions at the Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport	ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS	2013	10.5194/acp-13-9285-2013

AQ	Xu, H; Xiao, K; Pan, J; Fu, QY; Wei, XD; Zhou, JR; Yu, YM; Hu, X; Ren, HR; Cheng, JP; Peng, ST; Hong, NN; Ye, Y; Su, N; He, ZH; Hu, T	Evidence of aircraft activity impact on local air quality: A study in the context of uncommon airport operation	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES	2023	10.1016/j.jes.2022.02.039
AQ	Arter, CA; Buonocore, JJ; Moniruz-zaman, C; Yang, DM; Huang, JY; Arunachalam, S	Air quality and health-related impacts of traditional and alternate jet fuels from airport aircraft operations in the US	ENVIRONMENT INTERNATIONAL	2022	10.1016/j.envint.2021.106958
AQ	Zhu, YF; Fanning, E; Yu, RC; Zhang, QF; Froines, JR	Aircraft emissions and local air quality impacts from takeoff activities at a large International Airport	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	2011	10.1016/j.atmosenv.2011.08.062
AQ+GHG	Song, SK; Shon, ZH	Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Aircraft Activities at the Gimhae International Airport	JOURNAL OF KOREAN SOCIETY FOR ATMOSPHERIC ENVIRONMENT APPLIED SCIENCES-BASEL	2012	10.5572/KOSAE.2012.28.2.190
IR	Toma, AC; Cican, G; Crunteanu, DE	Enhancing Air Traffic Management and Reducing Noise Impact: A Novel Approach Integrating Baneasa Airport with Otopeni RO Airport	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY	2023	10.3390/app13169139
AQ	Herndon, SC; Rogers, T; Dunlea, EJ; Jayne, JT; Miake-Lye, R; Knighton, B	Hydrocarbon emissions from in-use commercial aircraft during airport operations	AERONAUTICAL JOURNAL	2006	10.1021/es051209I
lugt	Nasoulis, CP; Mantziou, S; Gkoutzamanis, VG; Kalfas, AI	Odour-sensitive passenger comfort in small aircraft cabins	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY	2024	10.1017/aer.2023.52
AQ	Hudda, N; Fruin, S; Durant, JL	Substantial Near-Field Air Quality Improvements at a General Aviation Airport Following a Runway Shortening	INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE TRANSPORTATION	2022	10.1021/acs.est.1c06765
AQ	Planda, B; Skorupski, J	Methods of air traffic management in the airport area including the environmental factor	INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENT AND POLLUTION	2017	10.1080/15568318.2016.1253801
AQ	Arunachalam, S; Naess, B; Seppanen, C; Valencia, A; Brandmeyer, JE; Venkatram, A; Weil, J; Isakov, V; Barzyk, T	A new bottom-up emissions estimation approach for aircraft sources in support of air quality modelling for community-scale assessments around airports	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	2019	10.1504/IJEP.2019.101832
IR	Magnoni, M; Toraldo, E; Giustozzi, F; Crispino, M	Recycling practices for airport pavement construction: Valorisation of on-site materials	SUSTAINABILITY	2016	10.1016/j.conbuildmat.2016.02.142
GHG	Boussauw, K; Vanoutrive, T	Flying Green from a Carbon Neutral Airport: The Case of Brussels	GEOGRAPHIA TECHNICA	2019	10.3390/su11072102
AQ	Ahyudanari, E	AIRPORT LOCATION OF CITY CENTER AND ITS CONTRIBUTION TO AIR QUALITY	JOURNAL OF AIRCRAFT	2019	10.21163/GT_2019.141.31
AQ	Synylo, K; Zaporozhets, O; Stiller, J; Fröhlich, J	Improvement of Airport Local Air Quality Modeling	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	2017	10.2514/1.C033803
AQ	Stettler, MEJ; Eastham, S; Barrett, SRH	Air quality and public health impacts of UK airports. Part I: Emissions	TRANSPORT POLICY	2011	10.1016/j.atmosenv.2011.07.012
AQ	Wolfe, PJ; Yim, SHL; Lee, G; Ashok, A; Barrett, SRH; Waitz, IA	Near-airport distribution of the environmental costs of aviation	ENERGY	2014	10.1016/j.tranpol.2014.02.023
AQ	Kesgin, U	Aircraft emissions at Turkish airports	NOSE2014: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ODOUR MONITORING AND CONTROL	2006	10.1016/j.energy.2005.01.012
lugt	Capelli, L; Sironi, S; Del Rosso, R	Odour Emission Factors: Fundamental Tools for Air Quality Management	INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENT AND POLLUTION	2014	10.3303/CET1440033
lugt	Bennett, M; Christie, S	An application of backscatter Lidar to model the odour nuisance arising from aircraft tyre smoke	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	2011	10.1504/IJEP.2011.038432
AQ	Barrett, SRH; Britter, RE; Waitz, IA	Impact of aircraft plume dynamics on airport local air quality	ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS	2013	10.1016/j.atmosenv.2013.03.061
AQ	Lee, H; Olsen, SC; Wuebbles, DJ; Youn, D	Impacts of aircraft emissions on the air quality near the ground	INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH	2013	10.5194/acp-13-5505-2013
AQ	Turgut, ET; Rosen, MA	Assessment of emissions at busy airports	GLOBAL NEST JOURNAL	2010	10.1002/er.1601
AQ	Tsilingiridis, G	AIRCRAFT AIR POLLUTANT EMISSIONS IN GREEK AIRPORTS		2009	

AQ	Turgut, ET; Rosen, MA	Emissions at Busy Airports	PROCEEDINGS OF THE 2ND WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING MECHANICS, STRUCTURES AND ENGINEERING GEOLOGY (EMESEG '09)	2009	
AQ	Riley, K; Cook, R; Carr, E; Manning, B	A systematic review of the impact of commercial aircraft activity on air quality near airports	CITY AND ENVIRONMENT INTER-ACTIONS	2021	10.1016/j.cacint.2021.100066
AQ	Soltani, M; Ahmadi, S; Akgunduz, A; Bhuiyan, N	An eco-friendly aircraft taxiing approach with collision and conflict avoidance	TRANSPORTATION RESEARCH PART C-EMERGING TECHNOLOGIES	2020	10.1016/j.trc.2020.102872
IR	Gao, ZY; Behere, A; Li, YC; Lim, D; Kirby, M; Mavris, DN	Development and Analysis of Improved Departure Modeling for Aviation Environmental Impact Assessment	JOURNAL OF AIRCRAFT	2021	10.2514/1.C036105
AQ	Benosa, G; Zhu, SP; Mac Kinnon, M; Dabdub, D	Air quality impacts of implementing emission reduction strategies at southern California airports	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	2018	10.1016/j.atmosenv.2018.04.048
AQ	Vichi, F; Frattoni, M; Imperiali, A; Balducci, C; Cecinato, A; Perilli, M; Romagnoli, P	Civil aviation impacts on local air quality: A survey inside two international airports in central Italy	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	2016	10.1016/j.atmosenv.2016.08.005
AQ	Demir, VG; Yalcin, E; Sogut, MZ; Karakoc, TH	Volatile organic compounds in aircraft cabins	INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE AVIATION	2020	10.1504/IJSA.2020.110604
IR	Ussinova, A; Laplace, I; Roucolle, C	An analysis of the impact of larger aircraft (A-380) on flight frequency	ENERGY EFFICIENCY	2018	10.1007/s12053-017-9591-7
lugt	Di Nardo, A; Santonastaso, GF; Bortone, I; Di Natale, M; Musmarra, D	A FUZZY EARLY WARNING SYSTEM TO MITIGATE THE ODOROUS SUBSTANCES EMITTED FROM A WASTE LANDFILL	PROCEEDINGS OF THE 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY	2013	
AQ	Cattani, G; di Bucchianico, AD; Gaeta, A; Romano, D; Fontana, L; Iavicoli, I	Airports and air quality: a critical synthesis of the literature	EPIDEMIOLOGIA & PREVENZIONE	2014	
AQ	Testa, E; Giammusso, C; Bruno, M; Maggiore, P	Fluid dynamic analysis of pollutants' dispersion behind an aircraft engine during idling	AIR QUALITY ATMOSPHERE AND HEALTH	2013	10.1007/s11869-012-0188-1
lugt	Al-Ahmad, M; Dimashki, M; Nassour, A; Nelles, M	Assessment and Behaviour of Landfill Gas Emission in Jleeb Al-Sheyukh Landfill Site in Kuwait	PROCEEDINGS OF THE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY AND KNOWLEDGE TRANSFER	2012	
AQ	He, JZ; Lin, CF; Liu, ZJ; Yang, CQ; Yang, XD	Investigating the spatial distribution of volatile organic compounds in aircraft cabins from various emission sources	ENVIRONMENTAL RESEARCH	2024	10.1016/j.envres.2023.118064
IR	Faber, J; Brodzik, K	Air quality inside passenger cars	AIMS ENVIRONMENTAL SCIENCE	2017	10.3934/environsci.2017.1.112
AQ	Guan, J; Li, Z; Yang, XD	Net in-cabin emission rates of VOCs and contributions from outside and inside the aircraft cabin	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	2015	10.1016/j.atmosenv.2015.04.002
IR	Broadwater, K; de Perio, MA; Roberts, J; Burton, NC; Lemons, AR; Green, BJ; Brueck, SE	Investigating a persistent odor at an aircraft seat manufacturer	JOURNAL OF OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL HYGIENE	2016	10.1080/15459624.2016.1183017
IR	Eckels, SJ; Jones, B; Mann, G; Mohan, KR; Weisel, CP	Aircraft Recirculation Filter for Air-Quality and Incident Assessment	JOURNAL OF AIRCRAFT	2014	10.2514/1.C032458
lugt	Felten, C; Metzendorf, U; Weiss, T; Hedtmann, J	Air quality in aircraft - Causes of odors and relationship with health complaints	FLUGMEDIZIN TROPENMEDIZIN REISEMEDIZIN	2013	

Bilag 2 Faktorer for brændstofforbrug, HC-emissioner og lugtemissioner

Hovedmotorer

Til brug for brændstof- og HC-emissionsberegningerne, findes faktorer for brændstofforbrug og HC-emissioner for de enkelte fly, der benytter lufthavnen. Ud fra flyets motortype, findes motorenes brændstofforbrug (FF (Fuel Flow); kg/s) og HC-emissionsindekser (HC EI; g/kg fuel) i ICAO's Engine Exhaust Emission Database (EASA, 2023) for motorbelastningen ved taxifart og start.

For turbopropmotorer, hentes data for brændstofforbrug og HC-emissioner fra en emissionsdatabase, der vedligeholdes af FOI (Totalförsvarets Forskningsinstitut, www.foi.se) i Sverige. For visse motorer, er HC-emissionen angivet til at være nul i FOI's emissionsdata, og for disse motorer anvendes HC-emissionsdata fra Rindlisbacher (2026).

I nogle få tilfælde mangler motortypen i lufthavnens operationsdata, eller kan ikke direkte findes i ICAO's flyemissionsdatabase. For disse flytyper, benyttes emissionsdata fra EMEP/EEA (2023).

Der er i projektet udført en litteratursøgning efter lugtemissionsdata, der kunne bruges som inputdata til lugtberegningerne for lufthavnen (se afsnit 2.1). Litteratursøgningen gav dog ingen oplysninger om lugtmålinger udført på flymotorer, udover de lugtmålinger der blev udført i det tidligere lugtprojekt i Københavns Lufthavn (Fenger et al., 2006). Derfor er det besluttet at bruge lugtemissionsfaktoren afledt af disse lugtmålinger som input til lugtberegningerne i dette projekt.

Kort beskrevet blev lugtemissionsfaktorerne i det tidligere projekt bestemt ud fra prøver af udstødningsgas opsamlet fra en flymotor ophængt i en testcelle. Ved prøveudtagningen blev koncentrationen af kuldioxid (CO₂) og brændstofforbrug målt i udstødningsgassen, hvorudfra fortyndingsforholdet i prøven kunne bestemmes. Koncentrationen af kulbrinter (HC), kuldioxid (CO₂) og iltindhold blev også målt i prøverne i forbindelse med en efterfølgende lugtanalyse (olfaktometrisk analyse) udført af lugtpanelister i et lugtpanel (Oxbøl, 2003). Lugtanalysen blev udført i henhold til Miljøstyrelsens vejledning nr. 4, 1985, om "Begrænsning af lugtgener fra virksomheder (Miljøstyrelsen, 1985).

Under forsøget blev lugtpanelisterne udsat for stærkt fortyndede lugtprøver af den opsamlede udstødningsgas. I forsøget blev HC-koncentrationen i lugtprøverne noteret ved den første markering af lugt fra 50 % af lugtpanelisterne (lugttærskelværdien), efterhånden som koncentrationen af den stærkt fortyndede lugtprøve gradvist blev forstærket.

Ud fra den rent faktiske HC-koncentration i udstødningsgassen, fortyndingsforholdet ved prøveopsamlingen, og HC-koncentrationen for lugttærskelværdien (1 lugtenhed), der blev bestemt af lugtpanelet, var det muligt at beregne en lugtfaktor på 57 lugtenheder pr. mg HC (57 LE/mg HC) i udstødningsgassen.

For nærmere detaljer vedrørende prøveopsamling, lugtpanel og den endelige bestemmelse af lugtfaktoren, henvises til Fenger et al. (2006) og Oxbøl (2003).

De endelige brændstofforbrug (g/s) for det enkelte flys hovedmotorer beregnes som:

$$ER_{fuel}(ME)_{id,m} = N_{id} \cdot FF_{X,m} \quad (1)$$

$ER_{fuel}(ME)$ = Brændstofforbrug (g/s) for hovedmotorer

N = Antal motorer

FF = Fuel flow (kg fuel/s)

id = Flyregistreringsnr.

X = Motor id

m = Motorbelastning (Idle/Take-off)

De endelige HC-emissionsrater (g/s) for det enkelte flys hovedmotorer beregnes som:

$$ER_{HC}(ME)_{id,m} = N_{id} \cdot EIHC_{X,m} \cdot FF_{X,m} \quad (2)$$

$ER_{HC}(ME)$ = HC-emissionsrate (g/s) for hovedmotorer

$EIHC$ = Emissionsindeks (g/kg fuel) for HC

Lugtraten for det enkelte flys hovedmotorer beregnes som:

$$LR(ME)_{id,m} = ER_{HC}(ME)_{id,m} \cdot 57000 \left(\frac{LE}{g_{HC}} \right) \quad (3)$$

$LR(ME)$ = Lugtrate (LE/s) for hovedmotorer

$ER_{HC}(ME)$ = HC-emissionsrate (g/s) for hovedmotorer

De beregnede rater for emissioner og brændstofforbrug for de 97 forskellige motorer i aktivitetsdata er ikke vist i denne rapport. I stedet er vægtede gennemsnit for alle flyene i lufthavnen vist i tabel B.2 fordelt på de forskellige taxifart operationstyper, landing og take-off.

APU

Faktorer for brændstofforbrug og HC-emissioner angivet i kg/h kommer fra ICAO (2020).

APU-faktorerne repræsenterer forskellige flystørrelser angivet ved sædekapacitet, og gamle/nye flytyper som vist i tabel B.1. Derudover detaljeres faktorerne efter APU'ens motorbelastning (jf. tabel 3.3).

Flytyperne i lufthavnens operationsdata er fordelt i de relevante APU-kategorier ud fra oplysninger om sædekapaciteter samt en generel vurdering af flytypens alder gjort i et tidligere lufthavnsprojekt (Ellermann et al., 2013), suppleret med data indhentet for flytyper indenfor de seneste år.

Tabel B.1. Gruppering af APU efter sædekapacitet og flytypealder.

APU kategori
>300 sæder, ny
>300 sæder, gammel
100-200 sæder, ny
100-200 sæder, gammel
200-300 sæder
Business/Regional jet

For APU, bruges lugtfaktoren på 57 LE/mg HC der også blev benyttet til lugtberegningerne i det tidligere lugtprojekt i Københavns Lufthavn (Fenger et al., 2006).

De endelige brændstofforbrug og HC-emissionsrater (g/s) for det enkelte flys APU afledes ud fra de relaterede kg/h faktorer.

$$ER(APU)_{id,k} = EI(APU)_{id,k}/3,6 \quad (4)$$

ER (APU) = Emissionsrate/brændstofforbrug (g/s) for APU

EI (APU) = Emissionsfaktorer/brændstofforbrug (kg/h)

id = Flyregistreringsnr.

k = APU kategori

Lugtraten for det enkelte flys APU-motor beregnes som:

$$LR(APU)_{id,k} = ER_{HC}(APU)_{id,k} \cdot 57000 \left(\frac{LE}{g_{HC}} \right) \quad (5)$$

LR (APU) = Lugtrate (LE/s) for APU-motorer

ER_{HC} (APU) = HC-emissionsrate (g/s) for APU-motorer

De vægtede gennemsnit for alle flyenes emissionsrater og brændstofforbrug er vist i tabel B.2 fordelt på de forskellige APU-operationstyper.

Opstart af hovedmotorer

Ved en hovedmotorstart, skyller en vis mængde flybrændstof (bestående af HC) ud af motoren i den første fase af hovedmotorstarten, før den første tænding af flybrændstoffet sker i motoren.

HC-emissionen for opstarten af en hovedmotor afhænger hovedmotorens størrelse, og beregnes ud fra metoden, der er dokumenteret af ICAO (2020). Metoden stammer fra den tyske luftkvalitetsberegningsmodel for lufthavne LASPORT (LASat for airPorts), se Janicke (2010):

$$HC_{MStart} = \frac{P}{2000kN} + 0,08 \quad (6)$$

HC_{MStart} = Kulbrinteemission pr. motor ved motoropstart (kg)

P = Motorstørrelse (kN)

For nemheds skyld, fordeles HC-emissionerne ligeligt over APU-tidsintervallet for motoropstart, der er vist i tabel 3.1. Hermed fås HC-emissionsraten (g/s) som:

$$ER_{HC}(MEstart)_{id} = HC(MEstart)_{id} / \Delta T(MEstart)_{id} \quad (7)$$

$ER_{HC}(MEstart)$ = HC-emissionsrate (g/s) for opstart af hovedmotorer

$\Delta T(MEstart)$ = Tidsrum for hovedmotoropstart (tabel 3.1)

id = Flyregistreringsnr.

Til at bestemme lugtbidraget fra den rene mængde flybrændstof, der skyller ud af motoren ved opstarten af hovedmotoren, bruges lugtemissionsdata for flybrændstof på dampform fra en ældre tysk lugtundersøgelse fra Düsseldorf? Lufthavn (Bahmann et al., 1994). I den tyske undersøgelse, findes en lugtfaktor, der omregnet i henhold til principperne i dansk lugtlovgivning bestemmes til 7.800 LE/mg HC³.

Lugtfaktoren for det rene flybrændstof er lille, både set i forhold til luftfaktoren for hovedmotorer fundet i det ældre tyske studie og lugtfaktoren for hovedmotorer (og APU) der bruges i dette projekt. Dette forhold passer godt med den erfaringsmæssige oplevelse i lufthavnen, at der kun er svag lugt forbundet med opstart af hovedmotorer og flytankning set i forhold til lugten fra hovedmotorer (og APU) i drift.

Lugtraten for det enkelte flys opstart af hovedmotorer beregnes som:

$$LR(MEstart)_{id} = ER_{HC}(MEstart)_{id} \cdot 7800 \left(\frac{LE}{g_{HC}} \right) \quad (8)$$

LR (MEstart) = Lugtrate (LE/s) for opstart af hovedmotorer

$ER_{HC}(MEstart)$ = HC-emissionsrate (g/s) for opstart af hovedmotorer

De beregnede emissionsrater for opstart af hovedmotorer for jetflyene i lufthavnen er ikke vist i denne rapport. I stedet er et vægtet gennemsnit for alle flyene vist i tabel B.2.

Tankning af fly

Ved flytankning, fortrænges en vis mængde damp af flybrændstof (bestående af HC) fra flyets tank, efterhånden som flybrændstoffet påfyldes.

Den fortrængte mængde damp af brændstof afhænger af den påfyldte brændstofmængde, og er bestemt af ICAO (2020) som 0,01 g HC pr. kg påfyldt brændstof:

$$HC(Tankning)_{id} = 0,01 \left(\frac{g_{HC}}{kg \text{ påfyldt brændstof}} \right) \cdot M(\text{påfyldt brændstof})_{id} (kg) \quad (9)$$

HC (Tankning) = Fortrængt mængde damp af flybrændstof ved flytankning (g)

M (påfyldt brændstof) = Massen af påfyldt brændstofmængde (kg)

³ I den tyske lugtundersøgelse, angives en lugtfaktor på 11.700 LE/g HC iht. den europæiske standard for lugtemissioner. Den europæiske baserede lugtfaktor omregnes til en lugtfaktor efter dansk standard ved at dividere med en faktor 1,5 iht. den danske lugtlovgivning.

id = Flyregistreringsnr.

Påfyldningen af flybrændstof for det enkelte fly sker som en del af flyhandlingen ved standpladsen efter landing.

For nemheds skyld, fordeles HC-emissionerne (fortrængt mængde brændstof) ligeligt over tidsintervallet for handling, der er vist i tabel 3.2. Hermed fås HC-emissionsraten (g/s) som:

$$ER_{HC}(Tankning)_{id} = HC(Tankning)_{id} / \Delta T(Tankning)_{id} \quad (10)$$

$ER_{HC}(tankning)$ = HC-emissionsrate (g/s) for tankning

$\Delta T_{Tankning}$ = Tidsrum for tankning (= tidsrum for handling vist i tabel 3.2)

id = Flyregistreringsnr.

For flytankning, bruges samme lugtemissionsfaktor som for opstart af hovedmotorer, og lugtraten for flytankning beregnes som:

$$LR(Tankning)_{id} = ER_{HC}(Tankning)_{id} \cdot 7800 \left(\frac{LE}{g_{HC}} \right) \quad (11)$$

$LR(Tankning)$ = Lugtrate (LE/s) for flytankning

$ER_{HC}(Tankning)$ = HC-emissionsrate (g/s) for flytankning

De beregnede emissionsrater for flytankning i lufthavnen er ikke vist i denne rapport. I stedet er et vægtet gennemsnit for alle flyene vist i tabel B.2.

Afledte emissionsrater og -faktorer for hovedmotorer, APU og flytankning

Tabel B.2 viser de afledte brændstofforbrug og HC- og lugtemissionsrater (udledning pr. sekund) beregnet som vægtet gennemsnit for alle hovedmotorer, APU og flytankning i Københavns Lufthavn.

Tabel B.2. Afledte HC- og lugtemissionsrater og brændstofforbrug (udledning pr. sekund) for hovedmotorer, APU og flytankning i Københavns Lufthavn.

Motor/Kilde	Operationstype	Lav flyaktivitet			Middel flyaktivitet			Høj flyaktivitet		
		Fuel g/s	HC g/s	Lugt LE/s	Fuel g/s	HC g/s	Lugt LE/s	Fuel g/s	HC g/s	Lugt LE/s
Hovedmotor	Taxi ankomst (rullevej)	221,5	0,446	2,54E+07	208,1	0,386	2,20E+07	207,0	0,426	2,43E+07
Hovedmotor	Taxi afgang (rullevej)	211,1	0,430	2,45E+07	199,1	0,381	2,17E+07	200,7	0,419	2,39E+07
Hovedmotor	Taxi afgang (kø)	220,4	0,405	2,31E+07	212,3	0,360	2,05E+07	212,1	0,404	2,30E+07
Hovedmotor	Landing (bane opbremsning)	220,9	0,422	2,41E+07	210,8	0,374	2,13E+07	212,1	0,404	2,30E+07
Hovedmotor	Landing (bane taxifart)	213,5	0,541	3,08E+07	196,5	0,468	2,67E+07	196,4	0,502	2,86E+07
Hovedmotor	Take-off (bane)	2229,6	0,124	7,09E+06	2095,9	0,109	6,23E+06	2117,9	0,120	6,84E+06
Hovedmotor	Landing (nedstigning)	204,7	0,444	2,53E+07	196,6	0,389	2,22E+07	197,0	0,429	2,45E+07
Hovedmotor	Take-off (opstigning)	2212,8	0,122	6,97E+06	2082,3	0,107	6,11E+06	2111,7	0,118	6,74E+06
Hovedmotor	Hovedmotor ved push-back	231,7	0,398	2,27E+07	214,4	0,344	1,96E+07	219,9	0,365	2,08E+07
APU	APU ankomst	31,9	0,011	6,05E+05	31,5	0,011	6,11E+05	31,4	0,011	6,11E+05
APU	APU opstart	21,8	0,209	1,19E+07	21,6	0,214	1,22E+07	21,7	0,213	1,22E+07
APU	APU boarding	31,9	0,011	6,07E+05	31,4	0,011	6,12E+05	31,5	0,011	6,12E+05
APU	APU hovedmotorstart	37,3	0,010	5,81E+05	36,7	0,010	5,85E+05	37,0	0,010	5,82E+05
APU	APU ved push-back	29,3	0,010	5,63E+05	30,0	0,010	5,92E+05	30,2	0,010	5,94E+05
Hovedmotor-start	Hovedmotor ved motorstart	116,6	4,232	4,26E+07	109,0	4,156	4,06E+07	110,4	4,174	4,10E+07
Tankning	Tankning	-	0,053	4,13E+05	-	0,050	3,90E+05	-	0,049	3,80E+05

Bilag 3 Beregningsmetode

HC- og lugtemissioner og brændstofforbrug for den i 'te celle på et givent tidspunkt af døgnet, t , beregnes for hovedmotorer, APU, opstart af hovedmotorer og flytankning ved at kombinere emissionsraterne fra hhv. udtrykkene 1-3 (hovedmotorer), 4-5 (APU), 7-8 (opstart af hovedmotorer) og 10-11 (flytankning) i Bilag 2 med gitterbaserede koordinater, tidspunkter og tidsrum i de enkelte celler, bestemt ved digitaliseringen af aktivitetsdata for fly jf. afsnit 3.2 "Digitalisering af aktivitetsdata":

$$E(t, i) = ER \cdot \Delta t(t, i) \quad (12)$$

E = Emission/brændstofforbrug (g) i den i 'te celle på tidspunkt = t

ER = Emissionsrate/brændstofforbrug (g/s) for hovedmotorer, APU, motoropstart og flytankning

i = Celle i spredningsmodel

Δt = Tidsrum i den i 'te celle

De beregnede emissioner fra (12) bruges i den efterfølgende modellering af spredning af lugt i lufthavnen og dens omgivelser.

LUGT FRA FLYAKTIVITETER I KØBENHAVNS LUFTHAVN

Lugtemissionsopgørelse og lugtgener

DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi har for Københavns Lufthavn undersøgt lugtgener fra lufthavnen i de omkringliggende områder. Dette er gjort ved hjælp af en detaljeret emissionsopgørelse for 2025 for lave, middel og høje flyaktivitetsniveauer. Lugtemissioner er blevet tilknyttet kulbrinteemissioner (HC) fra flyaktiviteter på lufthavnens område ved anvendelse af en lugtemissionsfaktor på 57 Lugtenheder (LE)/mg HC. Spredningsberegninger er herefter blevet foretaget for at undersøge, i hvilket omfang flyaktiviteter kan give anledning til lugtgener hos naboerne til Københavns Lufthavn og til overskridelse af grænseværdien for lugt. Der forekommer enkelte overskridelser i nærområdet, og disse afhænger af placeringen af kilderne på lufthavnens område, flyaktivitetsniveauet og vejrforholdene (vindretning og atmosfærisk stabilitet).